

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-160185  
(P2002-160185A)

(43) 公開日 平成14年6月4日(2002.6.4)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
B 2 5 J 13/00		B 2 5 J 13/00	Z 3 C 0 0 7
5/00		5/00	C 5 B 0 5 7
G 0 6 T 1/00	3 0 0	G 0 6 T 1/00	3 0 0 5 D 0 1 5
7/00	3 0 0	7/00	3 0 0 F 5 L 0 9 6
G 1 0 L 15/06		G 1 0 L 3/00	5 2 1 F

審査請求 未請求 請求項の数29 O L (全 46 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-103855(P2001-103855)

(22) 出願日 平成13年4月2日(2001.4.2)

(31) 優先権主張番号 特願2000-101364(P2000-101364)

(32) 優先日 平成12年3月31日(2000.3.31)

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(31) 優先権主張番号 特願2000-280871(P2000-280871)

(32) 優先日 平成12年9月14日(2000.9.14)

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 藤田 雅博

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 高木 剛

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外2名)

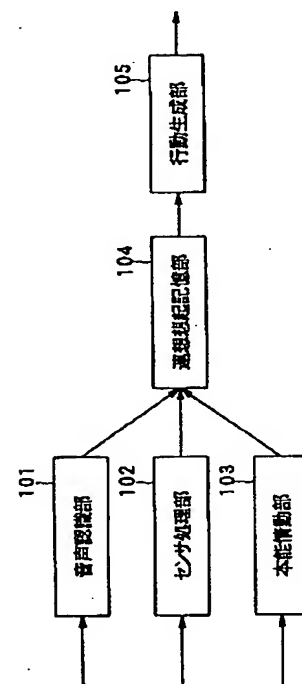
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット装置、ロボット装置の行動制御方法、外力検出装置及び外力検出方法

(57) 【要約】

【課題】 音声信号等の入力信号に結びつけて行動を学習する。

【解決手段】 ロボット装置1は、接触を検出するタッチセンサによる接触検出と同時に又は時間的前後に入力された情報を検出する音声認識部101と、接触に応じて出現した行動と、音声認識部101が検出した入力情報(音声信号)とを結びつけて記憶する連想想起記憶部104と、新たに得られた入力情報(音声信号)に基づいて、連想想起記憶部104により連想された行動をするように制御をする行動生成部105とを備える。そして、センサ処理部102は、タッチセンサによる接触検出に応じて行動を出現させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 接触を検出する接触検出手段と、  
上記接触検出手段による接触検出と同時に又は時間的前後に  
入力された情報を検出する入力情報検出手段と、  
上記接触に応じて出現した行動と、上記入力情報検出手  
段が検出した入力情報とを結びつけて記憶する記憶手段  
と、  
新たに得られた入力情報に基づいて、上記記憶手段にお  
ける情報から行動を連想して、その行動をする行動制御  
手段とを備えたことを特徴とするロボット装置。

【請求項 2】 上記接触手段による接触検出に応じて出  
現した行動は、上記接触の外部負荷による動作部の変位  
結果であり、  
上記接触検出手段は、上記外部負荷による動作部の制御  
信号の変化から接触を検出することを特徴とする請求項  
1 記載のロボット装置。

【請求項 3】 上記接触検出手段による接触検出に応じ  
て行動を出現させる行動出現手段を備え、  
上記記憶手段は、上記接触検出手段による接触検出に応  
じて出現させる行動と、上記入力情報検出手段が検出し  
た入力情報とを結びつけて記憶することを特徴とする請  
求項 1 記載のロボット装置。

【請求項 4】 上記入力情報検出手段は、画像情報又は  
音声情報の少なくとも一方を検出することを特徴とする  
請求項 1 記載のロボット装置。

【請求項 5】 接触を検出する接触検出工程と、  
上記接触検出工程による接触検出と同時に又は時間的前後  
に入力された情報を検出する入力情報検出工程と、  
上記接触に応じて出現した行動と、上記入力情報検出工  
程にて検出した入力情報とを結びつけて記憶手段に記憶  
する記憶工程と、  
新たに得られた入力情報に基づいて、記憶手段における  
情報から行動を連想して、その行動をする行動制御工程  
とを有することを特徴とするロボット装置の行動制御方  
法。

【請求項 6】 情報を検出する入力情報検出手段と、  
上記入力情報検出手段が検出した入力情報に応じて行動  
した結果を示す行動結果情報と、当該入力情報とを結び  
つけて記憶する記憶手段と、  
新たに入力された入力情報に基づいて、上記記憶手段に  
おける行動結果情報を特定し、当該行動結果情報に基づ  
いて行動をする行動制御手段とを備えたことを特徴とす  
るロボット装置。

【請求項 7】 外的要因及び／又は内的要因に応じて情  
動を変化させ、情動の状態に基づいて行動し、  
上記記憶手段は、上記入力情報に応じて行動した結果、  
生じた情動の状態を上記行動結果情報として、当該入力  
情報と結びつけて記憶し、  
上記行動制御手段は、上記入力情報に基づいて、上記記  
憶手段から対応される情動の状態を想起し、当該情動の

状態に応じて行動をすることを特徴とする請求項 6 記載  
のロボット装置。

【請求項 8】 上記入力情報検出手段は、画像情報又は  
音声情報の少なくとも一方を検出することを特徴とする  
請求項 6 記載のロボット装置。

【請求項 9】 入力情報検出手段が検出した入力情報に  
応じて行動した結果を示す行動結果情報と、当該入力情  
報とを結びつけて記録手段に記憶する記憶工程と、  
新たに入力された入力情報に基づいて、上記記憶手段に  
おける行動結果情報を特定し、当該行動結果情報に基づ  
いて行動をする行動制御工程とを有することを特徴とす  
るロボット装置の行動制御方法。

【請求項 10】 情報を検出する入力情報検出手段と、  
上記入力情報検出手段が検出した入力情報の特徴量を検  
出する特徴量検出手段と、  
上記特徴量に基づいて、上記入力情報を分類する情報分  
類手段と、  
上記入力情報の分類に基づいて、行動をする行動制御手  
段と上記行動制御手段に制御されて行動した結果を示す  
行動結果情報に基づいて、当該行動を引き起こした上記  
入力情報の分類を変更する分類変更手段とを備えること  
を特徴とするロボット装置。

【請求項 11】 上記入力情報が、画像情報又は音声情  
報であることを特徴とする請求項 10 記載のロボット装  
置。

【請求項 12】 上記分類変更手段は、上記行動結果情  
報が行動した結果が不快であった旨を示すとき、上記入  
力情報の分類を変更することを特徴とする請求項 10 記  
載のロボット装置。

【請求項 13】 入力情報検出手段が検出した入力情報  
の特徴量を検出する特徴量検出工程と、  
上記特徴量検出工程にて検出した特徴量に基づいて、上  
記入力情報を分類する情報分類工程と、  
上記情報分類工程における上記入力情報の分類に基づい  
て、行動をする行動制御工程と上記行動制御工程にて制  
御されて行動した結果を示す行動結果情報に基づいて、  
当該行動を引き起こした上記入力情報の分類を変更する  
分類変更工程とを有することを特徴とするロボット装置  
の行動制御方法。

【請求項 14】 学習対象物を特定する学習対象物特定  
手段と、  
上記学習対象物特定手段が特定した学習対象物の情報を  
記憶する記憶手段と、  
新たに検出した物と上記記憶手段に記憶した学習対象物  
の情報とに基づいて、行動をする行動制御手段とを備え  
たことを特徴とするロボット装置。

【請求項 15】 上記学習対象物特定手段は、入力画像  
情報をセグメントして、セグメントした領域の時間的変  
化を検出して、時間的变化が所定量になった領域に対応  
する対象物を学習対象物として特定することを特徴とす

る請求項 14 記載のロボット装置。

【請求項 16】 上記学習対象物特定手段は、入力音声情報に基づいて、学習対象物を特定することを特徴とする請求項 14 記載のロボット装置。

【請求項 17】 上記学習対象物特定手段は、入力音声情報の少なくとも音量又は方向の情報のうちの一の情報から学習対象物を特定することを特徴とする請求項 16 記載のロボット装置。

【請求項 18】 上記学習対象物特定手段は、学習対象対象物を教示する教示者の視線を検出して、当該視線から学習対象物を特定することを特徴とする請求項 14 記載のロボット装置。

【請求項 19】 学習対象物を特定する学習対象物特定工程と、  
上記学習対象物特定工程にて特定した学習対象物の情報を記憶手段に記憶する記憶工程と、  
新たな検出した物と上記記憶手段に記憶した学習対象物の情報とに基づいて、行動をする行動制御工程とを備えたことを特徴とするロボット装置の行動制御方法。

【請求項 20】 動作部材と、  
上記動作部材を動作させるための関節部と、  
上記動作部材を介して外力が作用している上記関節部の状態を検出する検出手段と、  
上記検出手段が検出した上記関節部の状態と上記外力とを対応させて学習する学習手段とを備えることを特徴とするロボット装置。

【請求項 21】 上記検出手段は、上記関節部の状態として上記動作部材を介して当該関節部に作用する外力を検出し、  
上記学習手段は、上記検出手段が検出した外力と上記動作部材への外力とを対応させて学習することを特徴とする請求項 20 記載のロボット装置。

【請求項 22】 上記検出手段は、上記関節部の状態として関節部の状態の目標値と実測値との差を検出し、  
上記学習手段は、上記検出手段が検出した上記目標値と実測値との差と上記外力とを対応させて学習することを特徴とする請求項 20 記載のロボット装置。

【請求項 23】 上記検出手段は、上記関節部の状態の目標値と実測値との差として、上記外力による上記関節部の制御信号の変化を検出し、  
上記学習手段は、上記検出手段が検出した変化した制御信号と上記外力とを対応させて学習することを特徴とする請求項 22 記載のロボット装置。

【請求項 24】 上記学習手段の学習結果と学習後における関節部の状態とに基づいて所定の動作をさせる動作制御手段をさらに備えることを特徴とする請求項 20 記載のロボット装置。

【請求項 25】 上記学習手段は、入力層、隠れ層及び出力層を有するニューラルネットワークにより学習することを特徴とする請求項 20 記載のロボット装置。

【請求項 26】 動作部材を動作させるための関節部の状態を検出する検出手段と、

上記検出手段が検出した関節部の状態に基づいて上記動作部材に作用する外力を検出する外力検出手段とを備えたことを特徴とする外力検出装置。

【請求項 27】 上記検出手段は、上記関節部の状態として関節部の状態の目標値と実測値との差を検出し、  
上記外力検出手段は、上記検出手段が検出した上記目標値と実測値との差に基づいて上記外力を検出することを特徴とする請求項 26 記載の外力検出装置。

【請求項 28】 上記検出手段は、上記関節部の状態の目標値と実測値との差として、上記動作部材を介した外力による上記関節部の制御信号の変化を検出し、  
上記外力検出手段は、上記検出手段が検出した変化した制御信号に基づいて上記外力を検出することを特徴とする請求項 27 記載の外力検出装置。

【請求項 29】 動作部材を動作させるための関節部の状態を検出し、  
検出した上記関節部の状態に基づいて上記動作部材に作用する外力を検出することを特徴とする外力検出方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ロボット装置、ロボット装置の行動を制御するロボット装置の行動制御方法並びに外力を検出する外力検出装置及び外力検出方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、知識獲得或いは言語獲得と呼ばれる分野においては、主に視覚情報と聴覚情報の連想記憶を基本とするものであった。

【0003】「LEARNING WORDS FROM NATURAL AUDIO-VISUAL INPUT」(Deb Roy, Alex Pentland) (以下、文献 1 という。)では、入力音声と入力画像から言語を学習する研究を行っている。この文献 1 での学習手法は、概略は次のようなものである。

【0004】画像信号と音声信号(音響信号)とを同時或いは時間を前後して学習システムに入力させる。文献 1 では、このように同時或いは時間を前後して入力された画像と音声のペアのイベント(Event)を A V イベント(AV - Event)と呼んでいる。

【0005】このように入力された画像信号及び音声信号について、画像処理により画像信号から色と形を検出し、一方で、音声処理により音声信号から音声区間検出(リカレントニューラルネット)及び音韻分析を行う。具体的には、画像特徴空間における特徴(距離等)から入力された画像を各クラス(特定画像を認識するためのクラス、認識クラス。)に分類する一方、音特徴空間における特徴(距離等)から入力された音を各クラス(特定の音を認識するためのクラス、認識クラス。)に分類する。特徴空間は、図 1 に示すように、複数の要素によ

って構成される空間であり、例えば、画像信号であれば、色差信号や輝度信号を要素とした2次元或いはそれ以上の多次元空間として構成されている。そして、入力された画像はそのような特徴空間において所定の分布を示すことから、そのような分布に基づいて色の認識が可能になる。例えば、このような特徴空間において、距離関係からクラス分類して、色を認識する。

【0006】例えば、音の認識では、連続認識HMM (Hidden Markov Model) 法を採用する。連続認識HMM法 (以下、単にHMMという。) は、音声信号を音韻系列として認識可能とするものである。また、上述のリカレントニューラルネットとは、信号が入力層側へ戻るような流れのニューラルネットワークである。

【0007】そして、同時発生に関する相関 (相関学習) をもとに、画像処理でクラス分類される刺激 (画像) に対してクラス分類された音韻を結びつけ (関連づけ)、学習を行っている。すなわち、画像で示されたものの名前や形容を学習結果として獲得している。

【0008】例えば、上述のような学習によれば、図2に示すように、画像情報からなる「赤いもの」、「青いもの」、・・・等に分類されている画像クラスにより入力画像が特定 (認識) され、また、音情報からなる“a-k a”、“a-o”、“k i”、・・・等に分類されているクラスにより入力音声も特定 (認識) される。

【0009】そして、そのようなクラス分類された画像や音声も相関学習により関連づけられる。これにより、“赤色のもの”が画像入力された場合には、その相関学習の結果として、学習システム200は、“a-k a”の音韻系列を出力することができる。

【0010】「【発明が解決しようとする課題】」ところで、近年、周囲の環境 (外的要因) や内部状態 (内的要因、例えば、感情、本能等の状態) に応じて自律的に行動するロボット装置が提案されている。このようなロボット装置は、人間或いは環境とインタラクション (対話) をするようなものとして構成されている。例えば、ロボット装置として、動物に模した形状及び動物のような仕草をする、いわゆるペットロボット等が提案されている。

【0011】例えば、このようなロボット装置においては、種々の情報を学習させることはその娯楽性の向上に繋がる。特に、行動を学習させることができれば、娯楽性は高まると言える。

【0012】しかし、上述した学習手法 (文献1) を、行動を引き起こすことを目的として構成されているロボット装置に応用する場合、以下のような問題が生じる。

【0013】先ず、上述したような学習手法では、行動を引き起こすことを適切に設定されていない。

【0014】上述の文献1では、発話は、入力信号に対する記憶した単語を発生するか、或いは新規な信号と判断されれば、適当な音韻の系列を発生させて出力してい

る。しかし、ロボット装置には、人間或いは環境とのインタラクション (対話) として、入力信号をそのまま表現する出力 (発話) が求められるわけではなく、入力に対して適切な行動が引き起こされることが要求されている。

【0015】また、画像特徴空間及び音特徴空間での距離関係をもとにクラス分類する場合、取得した画像及び音声については、画像特徴空間及び音特徴空間で近い情報となるが、それに対する行動が異なる場合、或いはそれに対する行動を異ならせたい場合も想定される。このような場合、最適な行動がなされるようにクラス分類に反映しなければならない。しかし、従来の手法はこのような状況に対処できるものではない。

【0016】また、従来の知識獲得或いは言語獲得は主として次のような事柄から構成されている。

(1) 画像信号のクラス分類と新しいクラスを生成する手段。

(2) 音響信号のクラス分類と新しいクラスを生成する手段。

(3) 項目 (1) と項目 (2) との結果を結びつける手段。或いは画像と音とを相関学習する手段。

【0017】もちろん、これ以外の機能が付加されているものもある。しかし、少なくともこの3つが構成要素となっている。

【0018】この項目 (1) 及び項目 (2) のクラス分類の手法としては、特徴空間へのマッピング、意味のある信号に対する先見的知識を用いたパラメトリックな識別法、確率的なクラス分類結果など様々な手法が存在する。

【0019】画像については、例えば、色空間において赤色、青色、緑色、黄色などの色テンプレートにおける閾値を制御することで行ったり、提示される色刺激に対して既にある色の記憶領域と入力色の特徴空間での距離より、各色としての確率を求めるなど、一般的な画像認識手法を用いることができる。例えば、図1に示すような特徴空間においてある特徴量として既にクラス分類されている領域に対して、入力された画像の特徴量が示す領域の距離から、そのようなクラスである確率を求めるようにである。また、ニューラルネットなどの手法も有効である。

【0020】一方、音声については、音韻検出、HMMによる入力された音韻系列と記憶されている音韻系列とを比較し、それに基づいた確率的単語認識などが用いられる。

【0021】また、上記項目 (1)、項目 (2) の新しいクラスを生成する手段としては、次のようなものがある。

【0022】入力信号に対し、既存のクラスに所属するかどうかの評価をし、既存のクラスに所属すると判断すれば、その入力信号をそのクラスに所属させ、クラス所

10

20

30

40

50



属の評価方法に反映させたりする。もし、既存のどのクラスにも所属しないと判断されれば、新しいクラスを生成し、そのクラス所属の評価はその入力刺激をもとに行うように学習を行う。

【0023】例えば、新しいクラスの生成としては、画像クラスについて既存のクラス（画像Aのクラス、画像Bのクラス、・・・）に所属しないと判断した場合、図3中（A）に示すように、いまあるクラス（例えば、画像Aのクラス）を分割して新たな画像のクラスを生成し、或いは音クラスについては、既存のクラス（音 $\alpha$ のクラス、音 $\beta$ のクラス、・・・）に所属しないと判断した場合、図3中（B）に示すように、いまあるクラス（音 $\beta$ のクラス）を分割して新たな音のクラスを生成する。

$$CV[n]=IC[n] \quad (0 \leq n < NIC) \quad *$$

【0028】

※ ※ 【数2】

$$CV[n]=SC[n-NIC] \quad (0 \leq n < NSC)$$

・・・ (1)

・・・ (2)

【0029】なお、自己想起型の連想記憶としては、ホップフィールドの提唱するいわゆるホップフィールドネットワークが有名である。

【0030】各ベクトルは、次のように1つのベクトルになされる。今、ベクトルCVを列ベクトルとすると自★

$$\text{delta\_W} = CV \times \text{trans}(CV)$$

【0032】これにより、画像刺激（入力された画像）をあるクラスとみなし、そのクラスに音声認識結果の単語（これは例えばHMMのクラス）と結びつけることが可能となる。新しい画像（例えば赤）を提示し、音声“a-k a”を入力することにより、画像刺激の赤色に各クラスが特徴空間上の刺激度或いは距離によって適当な大きさを示し、同様に音声“a-k a”という音韻系列に各クラスが適当な大きさと反応するが、それらを上記の式で相関行列として扱い、統計的に平均化することによって、同じ刺激には同じ画像と音声のクラスが高い値を示すため、高い相関を示すことになる。これにより、画像として赤色を提示すれば、“a-k a”というHMMのクラスが連想記憶される。

【0033】一方、「Perceptually grounded meaning creation」(Luc Steels, ICMAS, Kyoto 1996)（以下、文献2という。）では、ディスクリミネーションゲーム(Discrimination Game)と呼ぶ実験で意味獲得を行っている。ディスクリミネーションゲームは概略として次のようなものである。

【0034】システムは、上述のように画像と音響とは限らずに一般的なセンサチャンネルと特徴量検出器とを複数して構成されている。そして、それらの特徴量検出器により、エージェント(agent)とよぶ物（例えば、ソフトウェアにより構成）が、提示されたオブジェクト

\* 【0024】また、上記項目(3)の画像と音のクラスを結びつける手法には、例えば連想記憶等がある。

【0025】画像の識別クラスをベクトル（以下、画像識別ベクトルという。） $IC[i]$  ( $i=0, 1, \dots, NIC-1$ )、音の識別クラスのベクトル（以下、音識別ベクトルという。） $SC[j]$  ( $j=0, 1, \dots, NSC-1$ )とする。提示（学習のために入力）された画像と音信号に対して、各認識クラスの確率或いは評価結果値をそれぞれのベクトル値に設定する。

【0026】自己想起型の連想記憶では、画像識別ベクトルICと音識別ベクトルSCとを、(1)式及び(2)式で示すことができる1つのベクトルとする。

【0027】

【数1】

20★ 己想起型の連想記憶は、(3)式のdelta\_Wというマトリクスを現状の記憶しているマトリクスWに足すことでなされる。

【0031】

【数3】

・・・ (3)

(object)に対し、他のオブジェクト（既に認知しているオブジェクト）とを区別しようと試み、例えば、特徴量に基づいて区別化を図ろうとし、もし区別できる特徴量がなければ、その新たに提示されたオブジェクトに対応される新しい特徴量検出器を作り出していくというものである。そして、区別できる特徴量をもっていない場合、すなわち対応する特徴量検出器を持っていない場合は負け、持っていれば勝ちといった評価をしていく。

【0035】そして、システム全体は、セレクションノストの原理により動作する。すなわち、ゲームに勝てば生き残る確率をあげ、負ければ新しい特徴量検出器を作り出す。ただし、その新しい特徴量検出器は次のゲームで使われ、正しい結果を出すかどうかはわからない。このような動作により、区別をより良くするエージェントが生き残るようになる。

【0036】以上がディスクリミネーションゲームの概略であり、このようなディスクリミネーションゲームは、換言すれば、選択淘汰により、よりよい特徴量検出器を作り出す手法とみられることもできる。

【0037】また、「The Spontaneous Self-organization of an Adaptive Language」(Luc Steels, Muggleton, S. (ed.) (1996) Machine, Intelligence 15.)

（以下、文献3という。）では、ランゲージゲーム(Language Game)という手法で言語の発生を論じている。

ランゲージゲームは次の3つのステップからなる。

【0038】第1ステップ、プロパゲーション (propagation)。第2ステップ、クリエーション (creation)。このステップでは、エージェント (agent) が新しい単語を作り、それに対して新しい特徴を連想づける。第3ステップ、セルフオーガナイゼーション (self-organization)。このステップでは、淘汰と選択によりシステムが自己組織化していく。

【0039】このランゲージゲームは、いわゆる画像処理にあたる第1ステップの部分と、言語処理に関する単語に対応する第2ステップの部分 (ただし、実際には音声認識をせずいわゆる文字を入力する部分)、それとその単語からステップ1において取得している画像を連想させる第3ステップからなる。上述したディスクリミネーションゲームは、第2ステップに相当する部分はなく、既存の特徴空間での区別だけを対象としている。

【0040】また、「知覚情報からの概念構造にもとづく音声入力による言語獲得」(岩崎、田村、ソニーコンピュータサイエンス研究所) (以下、文献4という。)では、音声認識にHMMを使用し、画像はコンピュータ

のモニター上の色がついた典型的なパターン (丸、三角等の形状、及び赤、青等の色のもの) を用いて文法獲得を行っている。

【0041】文献4では、図4に示すように、ユーザはモニター210上のパターン (ある物体) をマウスでクリックし (ポインタ212で指示し)、同時に音声で“赤い丸”などと発話する。そして、色画像のディスクリミネータゲームの理論とHMMの音声認識を用い、上述した文献3のランゲージゲームにおける第1ステップ～第3ステップを確率的に行っている。

【0042】新しいクラスの生成は、所定の手法によるベリフィケーション (verification) により行っている。この文献4では、音声認識にHMMを用いてベリフィケーションで新しいクラスをつくると判断したとき、そのHMMをさらに分割することで新しいクラスを生成している。

【0043】さらに、図4中の矢印方向として示すように、マウスで選んだパターン211を動かすことにより、“第1のオブジェクト (Obj1) 211を第2のオブジェクト (Obj2) 213の上へ移動”という動作と同時に、“上にのせる”という音声を入力することにより、そのようなモニター210内でしたパターンの動きを認識させることができる。そして、このような認識された動作については、HMMによりクラス分けをしている。

【0044】以上のように、知識獲得或いは言語獲得についての技術が種々提案されている。しかし、このような手法についても、ロボット装置における行動獲得 (行動学習) といった面から以下のような問題が存在する。

(1)．入力信号の特徴空間内の距離とクラス所属評価

についての問題。

(2)．行動生成とその評価についての問題。

(3)．学習対象物をインタラクションを行う両者で共有することについての問題。いわゆる学習対象物の共有の問題。

【0045】上述の問題(1)は、例えば入力された画像信号に対してクラス所属評価が画像信号にかかわる情報だけ、若しくは同時に入力された音信号、又はその2つにより想起された記憶情報に影響されるだけでは難しい状況がある、というものである。なお、ここで、クラス所属評価とは、どのクラスに該当するかの指標となるものである。

【0046】例えば、既存のクラスの特徴空間で非常に近いとされる画像信号が入力されたと仮定する。例えば、図5中(A)に示すように、クラスAとクラスBとが画像特徴空間において近接している場合である。しかし、ここで入力された画像信号は、実は新しいクラスの生成をするべき信号とされているものとする。

【0047】一方、このような条件の下で、この画像信号に対応する対象物の他の情報として、同時に音声信号が入力され、この入力された音声信号が既存のクラスとは非常に離れているという判断がなされれば、当該対象物について音についての新たなクラスが生成されることになる。例えば、図5中(B)に示すように、クラス $\alpha$  (画像のクラスAに対応付けされる音クラス) とクラス $\beta$  (画像のクラスBに対応付けされる音クラス) とが音特徴空間において、分布が異なり、閾値 $S_2$ を設定できるものとする。

【0048】よって、画像のクラス所属評価に、音についての特徴空間に基づいてしたクラス所属評価を反映させることができれば、画像についても新しいクラスを生成することができる。例えば、音特徴空間におけるクラス所属評価を反映させることにより、図5中(A)に示すように、特徴の近似のクラスAとクラスBとの間に両者を区別する閾値 $S_1$ を設定することができる。すなわち、他方のクラス所属評価を参照することにより、クラスの所属評価が適切になされるようになるというものがある。

【0049】しかし、もし画像信号及び音声信号の両方についてもクラスが非常に近かった場合、これだけでは画像及び音声について新しいクラスを発生させることは難しい。これは、例えば、図6中(A)及び(B)に示すように、画像及び音の特徴空間においてクラスが近似している場合において、第3の特徴空間からみて全く異なる特徴を有しているときであっても、それらを区別化ができないということである。例えば、第3の特徴空間としては、行動の特徴を示すものが考えられる。

【0050】そこで、本発明は、上述の実情に鑑みてなされたものであり、対象物を、各特徴空間において適切に判別することができるロボット装置及びロボット装置

の行動制御方法の提供を目的としている。

【0051】また、上述の問題(2)については、例えば新しいクラス所属と判断すべき信号が入力されたとき、いかにロボット装置の新しい行動を生成し、それを評価するのか、ということである。

【0052】従来の手法では、言語発生の評価が、生成した行動の評価に対応するとも考えられるが、文献3では、任意の音韻列を生成している。それが、入力信号おそらくは画像信号に含まれているオブジェクトの名前等になるのである。しかしながら、行動の生成として、任意の動き列を発生させるわけにはいかない。

【0053】例えば、4本の各脚が3自由度のロボット装置の各関節角の任意列を発生してもほとんどの場合、意味のある動きにならない。また、言語発生ではその音韻系列がそのオブジェクト(対象物)の名前になっていくだけであるが、行動生成では、そのようにして生成した行動についての善し悪しの評価をどうするかが問題になる。

【0054】また、本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、入力に対して、適切な行動を生成することができるロボット装置及びロボット装置の行動制御方法の提供を目的としている。

【0055】また、上述の問題(3)については、いわゆる学習対象物の共有(共同注意)の問題であり、ロボット装置が知覚している情報が多様であることに起因する。例えば、ロボット装置の画像信号入力部(例えば、CCDカメラ)と全く異なる方向に人間がオレンジのボールをもって、“オレンジのボール”を発言し、教育しても、ロボット装置の視野に入っているオブジェクト(対象物)がピンクの箱であれば、それを“オレンジのボール”を結びつけてしまう。

【0056】また、上述した文献4の手法においては、モニター210上のパターン211をマウスでクリックして学習対象物(教育対象物)として指定しているが、実世界ではこのような学習対象物の指定手段がない。また、上述の文献2及び文献3の理論をロボット装置に適用したと仮定した場合でも、ロボット装置のなす行動は、視覚に入っているいくつかの対象物のうち、言い手が適当に選んだ対象物に対して、自分の記憶に従ってその名前を発話し、その発話に基づいて言い手が学習対象物を選ぶ、というものになる。これでは、実世界においてなされているような、学習対象物を特定した学習とはなっていない。

【0057】また、本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、学習対象物の共有(共同注意)を可能として、適切に学習対象物を特定することができるロボット装置及びロボット装置の行動制御方法の提供を目的としている。

【0058】また、従来のロボット装置1は、頭部に設けたタッチセンサ等を介し、頭等に外部から力が加えら

れたことを検出して、ユーザとのインタラクション(対話)をしていたが、これではセンサの数やその配置位置によりインタラクションが制限されてしまうことになる。

【0059】そこで、本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、ユーザからの接触(外力)によるインタラクションの自由度を高くすることを可能にするロボット装置、外力検出装置及び外力検出方法の提供を目的としている。

【0060】

【課題を解決するための手段】本発明に係るロボット装置は、上述の課題を解決するために、接触を検出する接触検出手段と、接触検出手段による接触検出と同時に又は時間的前後に入力された情報を検出する入力情報検出手段と、接触に応じて出現した行動と、入力情報検出手段が検出した入力情報とを結びつけて記憶する記憶手段と、新たに得られた入力情報に基づいて、記憶手段における情報から行動を連想して、その行動をする行動制御手段とを備える。

【0061】このような構成を備えたロボット装置は、接触検出手段による接触検出の時間的前後に入力された情報を入力情報検出手段により検出し、接触に応じて出現した行動と、入力情報検出手段が検出した入力情報とを結びつけて記憶手段に記憶し、行動制御手段により、新たに得られた入力情報に基づいて、記憶手段における情報から行動を連想して、その行動をする。

【0062】これにより、ロボット装置は、入力情報とその際に出現した行動とを結びつけて記憶して、再び同一の入力情報が入力された際には、対応される行動を再び出現させる。

【0063】また、本発明に係るロボット装置の行動制御方法は、上述の課題を解決するために、接触を検出する接触検出工程と、接触検出工程による接触検出と同時に又は時間的前後に入力された情報を検出する入力情報検出工程と、接触に応じて出現した行動と、入力情報検出工程にて検出した入力情報とを結びつけて記憶手段に記憶する記憶工程と、新たに得られた入力情報に基づいて、記憶手段における情報から行動を連想して、その行動をする行動制御工程とを有する。

【0064】このようなロボット装置の行動制御方法により、ロボット装置は、入力情報とその際に出現した行動とを結びつけて記憶して、再び同一の入力情報が入力された際には、対応される行動を再び出現させる。

【0065】また、本発明に係るロボット装置は、上述の課題を解決するために、情報を検出する入力情報検出手段と、入力情報検出手段が検出した入力情報に応じて行動した結果を示す行動結果情報と、当該入力情報とを結びつけて記憶する記憶手段と、新たに入力された入力情報に基づいて、記憶手段における行動結果情報を特定し、当該行動結果情報に基づいて行動をする行動制御手

10

20

30

40

50

段とを備える。

【0066】このような構成を備えたロボット装置は、入力情報検出手段が検出した入力情報に応じて行動した結果を示す行動結果情報と、当該入力情報とを結びつけて記憶手段に記憶し、行動制御手段により、新たに入力された入力情報に基づいて、記憶手段における行動結果情報を特定し、当該行動結果情報に基づいて行動をする。

【0067】これにより、ロボット装置は、入力情報とその入力情報に応じて行動した結果の行動結果情報とを結びつけて記憶して、再び同一の入力情報が入力された際には、対向される行動結果情報に基づき過去の行動を想起して、適切な行動を出現させる。

【0068】また、本発明に係るロボット装置の行動制御方法は、上述の課題を解決するために、入力情報検出手段が検出した入力情報に応じて行動した結果を示す行動結果情報と、当該入力情報とを結びつけて記録手段に記憶する記憶工程と、新たに入力された入力情報に基づいて、上記記憶手段における行動結果情報を特定し、当該行動結果情報に基づいて行動をする行動制御工程とを有する。

【0069】このようなロボット装置の行動制御方法により、ロボット装置は、入力情報とその入力情報に応じて行動した結果の行動結果情報とを結びつけて記憶して、再び同一の入力情報が入力された際には、対向される行動結果情報に基づき過去の行動を想起して、適切な行動を出現させる。

【0070】また、本発明に係るロボット装置は、情報を検出する入力情報検出手段と、入力情報検出手段が検出した入力情報の特徴量を検出する特徴量検出手段と、特徴量に基づいて、入力情報を分類する情報分類手段と、入力情報の分類に基づいて、行動をする行動制御手段と行動制御手段により行動した結果を示す行動結果情報に基づいて、当該行動を引き起こした入力情報の分類を変更する分類変更手段とを備える。このような構成を備えたロボット装置は、入力情報検出手段が検出した入力情報の特徴量を特徴量検出手段により検出し、特徴量に基づいて、入力情報を情報分類手段により分類し、行動制御手段により、入力情報の分類に基づいて行動をして、行動制御手段により制御されて行動した結果を示す行動結果情報に基づいて、当該行動を引き起こした入力情報の分類を分類変更手段により変更する。

【0071】これにより、ロボット装置は、入力情報の分類に応じて行動をして、その行動した結果に基づいてその分類を変更する。

【0072】また、本発明に係るロボット装置の行動制御方法は、上述の課題を解決するために、入力情報検出手段が検出した入力情報の特徴量を検出する特徴量検出工程と、特徴量検出工程にて検出した特徴量に基づいて、入力情報を分類する情報分類工程と、情報分類工程

における入力情報の分類に基づいて行動をする行動制御工程と、行動制御工程にて制御されて行動した結果を示す行動結果情報に基づいて、当該行動を引き起こした入力情報の分類を変更する分類変更工程とを有する。

【0073】このようなロボット装置の行動制御方法により、ロボット装置は、入力情報の分類に応じて行動をして、その行動した結果に基づいてその分類を変更する。

【0074】また、本発明に係るロボット装置は、上述の課題を解決するために、学習対象物を特定する学習対象物特定手段と、学習対象物特定手段が特定した学習対象物の情報を記憶する記憶手段と、新たな検出した物と記憶手段に記憶した学習対象物の情報とに基づいて、行動をする行動制御手段と備える。

【0075】このような構成を備えたロボット装置は、学習対象物を特定する学習対象物特定手段が特定した学習対象物の情報を記憶手段に記憶し、行動制御手段により、新たな検出した物と記憶手段に記憶した学習対象物の情報とに基づいて行動をする。

【0076】これにより、ロボット装置は、学習対象物を記憶して、再び同一の対象物が入力された際には、所定の行動をする。

【0077】また、本発明に係るロボット装置の行動制御方法は、上述の課題を解決するために、学習対象物を特定する学習対象物特定工程と、学習対象物特定工程にて特定した学習対象物の情報を記憶手段に記憶する記憶工程と、新たな検出した物と記憶手段に記憶した学習対象物の情報とに基づいて、行動をする行動制御工程とを有する。

【0078】このようなロボット装置の行動制御方法により、ロボット装置は、学習対象物を記憶して、再び同一の対象物が入力された際には、所定の行動をする。

【0079】また、本発明に係るロボット装置は、上述の課題を解決するために、動作部材と、動作部材を動作させるための関節部と、動作部材を介して外力が作用している関節部の状態を検出する検出手段と、検出手段が検出した関節部の状態と外力とを対応させて学習する学習手段とを備える。

【0080】このような構成を備えたロボット装置は、動作部材を介して外力が作用している関節部の状態を検出手段により検出し、検出手段が検出した関節部の状態と外力とを対応させて学習手段により学習する。すなわち、ロボット装置は、動作部材に作用する外力に応じて変化する関節部の状態に対応させて当該外力を学習する。

【0081】また、本発明に係る外力検出装置は、上述の課題を解決するために、動作部材を動作させるための関節部の状態を検出する検出手段と、検出手段が検出した関節部の状態に基づいて動作部材に作用する外力を検出する外力検出手段とを備える。

【0082】このような構成を備えた外力検出装置は、動作部材を動作させるための関節部の状態を検出手段により検出し、検出手段が検出した関節部の状態に基づいて動作部材に作用する外力を検出する。すなわち、外力検出装置は、動作部材に作用する外力を、当該動作部材を動作させる関節部の状態に基づいて検出する。

【0083】また、本発明に係る外力検出方法は、上述の課題を解決するために、動作部材を動作させるための関節部の状態を検出し、検出した関節部の状態に基づいて動作部材に作用する外力を検出する。すなわち、外力検出方法は、動作部材に作用する外力を、当該動作部材を動作させる関節部の状態に基づいて検出する。

【0084】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を用いて詳しく説明する。この実施の形態は、周囲の環境（外的要因）や内部の状態（内的要因）に応じて自律的に行動をする自律型のロボット装置である。

【0085】実施の形態では、先ず、ロボット装置の構成について説明して、その後、ロボット装置における本発明の適用部分について詳細に説明する。

【0086】

（1）本実施の形態によるロボット装置の構成

図7に示すように、「犬」を模した形状のいわゆるペットロボットとされ、胴体部ユニット2の前後左右にそれぞれ脚部ユニット3A、3B、3C、3Dが連結されると共に、胴体部ユニット2の前端部及び後端部にそれぞれ頭部ユニット4及び尻尾部ユニット5が連結されて構成されている。

【0087】胴体部ユニット2には、図8に示すように、CPU（Central Processing Unit）10、DRAM（Dynamic Random Access Memory）11、フラッシュROM（Read Only Memory）12、PC（Personal Computer）カードインターフェース回路13及び信号処理回路14が内部バス15を介して相互に接続されることにより形成されたコントロール部16と、このロボット装置1の動力源としてのバッテリー17とが収納されている。また、胴体部ユニット2には、ロボット装置1の向きや動きの加速度を検出するための角速度センサ18及び加速度センサ19なども収納されている。

【0088】また、頭部ユニット4には、外部の状況を撮像するためのCCD（Charge Coupled Device）カメラ20と、使用者からの「撫でる」や「叩く」といった物理的な働きかけにより受けた圧力を検出するためのタッチセンサ21と、前方に位置する物体までの距離を測定するための距離センサ22と、外部音を集音するためのマイクロホン23と、鳴き声等の音声を出力するためのスピーカ24と、ロボット装置1の「目」に相当するLED（Light Emitting Diode）（図示せず）となどがそれぞれ所定位置に配置されている。

【0089】さらに、各脚部ユニット3A～3Dの関節

部分や各脚部ユニット3A～3D及び胴体部ユニット2の各連結部分、頭部ユニット4及び胴体部ユニット2の連結部分、並びに尻尾部ユニット5の尻尾5Aの連結部分などにはそれぞれ自由度数分のアクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>及びポテンシオメータ26<sub>1</sub>～26<sub>n</sub>が配設されている。例えば、アクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>はサーボモータを構成として有している。サーボモータの駆動により、脚部ユニット3A～3Dが制御されて、目標の姿勢或いは動作に移移する。

【0090】そして、これら角速度センサ18、加速度センサ19、タッチセンサ21、距離センサ22、マイクロホン23、スピーカ24及び各ポテンシオメータ26<sub>1</sub>～26<sub>n</sub>などの各種センサ並びにLED及び各アクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>は、それぞれ対応するハブ27<sub>1</sub>～27<sub>n</sub>を介してコントロール部16の信号処理回路14と接続され、CCDカメラ20及びバッテリー17は、それぞれ信号処理回路14と直接接続されている。

【0091】なお、後述するように、動作（行動）の学習において、この角速度センサ18、加速度センサ19、ポテンシオメータ26<sub>1</sub>～26<sub>n</sub>等の信号が使用される。

【0092】信号処理回路14は、上述の各センサから供給されるセンサデータや画像データ及び音声データを順次取り込み、これらをそれぞれ内部バス15を介してDRAM11内の所定位置に順次格納する。また信号処理回路14は、これと共にバッテリー17から供給されるバッテリー残量を表すバッテリー残量データを順次取り込み、これをDRAM11内の所定位置に格納する。

【0093】このようにしてDRAM11に格納された各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データは、この後CPU10がこのロボット装置1の動作制御を行う際に利用される。

【0094】實際上CPU10は、ロボット装置1の電源が投入された初期時、胴体部ユニット2の図示しないPCカードスロットに装填されたメモリカード28又はフラッシュROM12に格納された制御プログラムをPCカードインターフェース回路13を介して又は直接読み出し、これをDRAM11に格納する。

【0095】また、CPU10は、この後上述のように信号処理回路14よりDRAM11に順次格納される各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データに基づいて自己及び周囲の状況や、使用者からの指示及び働きかけの有無などを判断する。

【0096】さらに、CPU10は、この判断結果及びDRAM11に格納した制御プログラムに基づいて続く行動を決定すると共に、当該決定結果に基づいて必要なアクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>を駆動させることにより、頭部ユニット4を上下左右に振らせたり、尻尾部ユニット5の尻尾5Aを動かしたり、各脚部ユニット3A

10

20

30

40

50

～3Dを駆動させて歩行させるなどの行動を行わせる。

【0097】また、この際CPU10は、必要に応じて音声データを生成し、これを信号処理回路14を介して音声信号としてスピーカ24に与えることにより当該音声信号に基づく音声を外部に出力させたり、上述のLEDを点灯、消灯又は点滅させる。

【0098】このようにしてこのロボット装置1においては、自己及び周囲の状況や、使用者からの指示及び働きかけに応じて自律的に行動し得るようになされている。

【0099】(2)制御プログラムのソフトウェア構成ここで、ロボット装置1における上述の制御プログラムのソフトウェア構成は、図9に示すようになる。この図9において、デバイス・ドライバ・レイヤ30は、この制御プログラムの最下位層に位置し、複数のデバイス・ドライバからなるデバイス・ドライバ・セット31から構成されている。この場合、各デバイス・ドライバは、CCDカメラ20(図8)やタイマ等の通常のコンピュータで用いられるハードウェアに直接アクセスするごとを許されたオブジェクトであり、対応するハードウェアからの割り込みを受けて処理を行う。

【0100】また、ロボティック・サーバ・オブジェクト32は、デバイス・ドライバ・レイヤ30の最下位層に位置し、例えば上述の各種センサやアクチュエータ251～25n等のハードウェアにアクセスするためのインターフェースを提供するソフトウェア群でなるバーチャル・ロボット33と、電源の切換えなどを管理するソフトウェア群でなるパワーマネージャ34と、他の種々のデバイス・ドライバを管理するソフトウェア群でなるデバイス・ドライバ・マネージャ35と、ロボット装置1の機構を管理するソフトウェア群でなるデザインド・ロボット36とから構成されている。

【0101】マネージャ・オブジェクト37は、オブジェクト・マネージャ38及びサービス・マネージャ39から構成されている。オブジェクト・マネージャ38は、ロボティック・サーバ・オブジェクト32、ミドル・ウェア・レイヤ40、及びアプリケーション・レイヤ41に含まれる各ソフトウェア群の起動や終了を管理するソフトウェア群であり、サービス・マネージャ39は、メモリカード28(図8)に格納されたコンフィギュレーションファイルに記述されている各オブジェクト間の接続情報に基づいて各オブジェクトの接続を管理するソフトウェア群である。

【0102】ミドル・ウェア・レイヤ40は、ロボティック・サーバ・オブジェクト32の上位層に位置し、画像処理や音声処理などのこのロボット装置1の基本的な機能を提供するソフトウェア群から構成されている。また、アプリケーション・レイヤ41は、ミドル・ウェア・レイヤ40の上位層に位置し、当該ミドル・ウェア・レイヤ40を構成する各ソフトウェア群によって処理さ

れた処理結果に基づいてロボット装置1の行動を決定するためのソフトウェア群から構成されている。

【0103】なお、ミドル・ウェア・レイヤ40及びアプリケーション・レイヤ41の具体的なソフトウェア構成をそれぞれ図10に示す。

【0104】ミドル・ウェア・レイヤ40は、図10に示すように、騒音検出用、温度検出用、明るさ検出用、音階認識用、距離検出用、姿勢検出用、タッチセンサ用、動き検出用及び色認識用の各信号処理モジュール50～58並びに入力セマンティクスコンバータモジュール59などを有する認識系60と、出力セマンティクスコンバータモジュール68並びに姿勢管理用、トラッキング用、モーション再生用、歩行用、転倒復帰用、LED点灯用及び音再生用の各信号処理モジュール61～67などを有する出力系69とから構成されている。

【0105】認識系60の各信号処理モジュール50～58は、ロボティック・サーバ・オブジェクト32のバーチャル・ロボット33によりDRAM11(図8)から読み出される各センサデータや画像データ及び音声データのうちの対応するデータを取り込み、当該データに基づいて所定の処理を施して、処理結果を入力セマンティクスコンバータモジュール59に与える。ここで、例えば、バーチャル・ロボット33は、所定の通信規約によって、信号の授受或いは変換をする部分として構成されている。

【0106】入力セマンティクスコンバータモジュール59は、これら各信号処理モジュール50～58から与えられる処理結果に基づいて、「うるさい」、「暑い」、「明るい」、「ボールを検出した」、「転倒を検出した」、「撫でられた」、「叩かれた」、「ドミソの音階が聞こえた」、「動く物体を検出した」又は「障害物を検出した」などの自己及び周囲の状況や、使用者からの指令及び働きかけを認識し、認識結果をアプリケーション・レイヤ41(図8)に出力する。

【0107】アプリケーション・レイヤ41は、図11に示すように、行動モデルライブラリ70、行動切換えモジュール71、学習モジュール72、感情モデル73及び本能モデル74の5つのモジュールから構成されている。

【0108】行動モデルライブラリ70には、図12に示すように、「バッテリー残量が少なくなった場合」、「転倒復帰する」、「障害物を回避する場合」、「感情を表現する場命」、「ボールを検出した場合」などの予め選択されたいくつかの条件項目にそれぞれ対応させて、それぞれ独立した行動モデル701～70nが設けられている。

【0109】そして、これら行動モデル701～70nは、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール59から認識結果が与えられたときや、最後の認識結果が与えられてから一定時間が経過したときなどに、必要



に応じて後述のように感情モデル 73 に保持されている対応する情動のパラメータ値や、本能モデル 74 に保持されている対応する欲求のパラメータ値を参照しながら続く行動をそれぞれ決定し、決定結果を行動切換えモジュール 71 に出力する。

【0110】なお、この実施の形態の場合、各行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> は、次の行動を決定する手法として、図 13 に示すような 1 つのノード (状態) NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> から他のどのノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> に遷移するかを各ノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> に間を接続するアーク ARC<sub>1</sub> ~ ARC<sub>n</sub> に対してそれぞれ設定された遷移確率 P<sub>1</sub> ~ P<sub>n</sub> に基づいて確率的に決定する有限確率オートマトンと呼ばれるアルゴリズムを用いる。

【0111】具体的に、各行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> は、それぞれ自己の行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> を形成するノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> にそれぞれ対応させて、これらノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> ごとに図 14 に示すような状態遷移表 80 を有している。

【0112】この状態遷移表 80 では、そのノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> において遷移条件とする入力イベント (認識結果) が「入力イベント名」の行に優先順に列記され、その遷移条件についてのさらなる条件が「データ名」及び「データ範囲」の行における対応する列に記述されている。

【0113】したがって、図 14 の状態遷移表 80 で表されるノード NODE<sub>100</sub> では、「ボールを検出 (BALL)」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果と共に与えられるそのボールの「大きさ (SIZE)」が「0 から 1000」の範囲であることや、「障害物を検出 (OBSTACLE)」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果と共に与えられるその障害物までの「距離 (DISTANCE)」が「0 から 100」の範囲であることが他のノードに遷移するための条件となっている。

【0114】また、このノード NODE<sub>100</sub> では、認識結果の入力がない場合においても、行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> が周期的に参照する感情モデル 73 及び本能モデル 74 にそれぞれ保持された各情動及び各欲求のパラメータ値のうち、感情モデル 73 に保持された「喜び (JOY)」、「驚き (SURPRISE)」、若しくは「悲しみ (SADNESS)」のいずれかのパラメータ値が「50 から 100」の範囲であるときには他のノードに遷移することができるようになっている。

【0115】また、状態遷移表 80 では、「他のノードへの遷移確率」の欄における「遷移先ノード」の列にそのノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> から遷移できるノード名が列記されていると共に、「入力イベント名」、「データ値」及び「データの範囲」の行に記述された全ての条件が揃ったときに遷移できる他の各ノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> への遷移確率が「他のノードへの遷移確率」の欄内の対応する箇所にそれぞれ記述され、そのノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> に遷移する際に出力すべき行動が「他のノードへの遷移確率」の欄における「出力行動」の行に記述されている。なお、「他のノードへの遷移確率」の欄における各行の確率の和は 100 [%] となっている。

【0116】したがって、図 14 の状態遷移表 80 で表されるノード NODE<sub>100</sub> では、例えば「ボールを検出 (BALL)」し、そのボールの「SIZE (大きさ)」が「0 から 1000」の範囲であるという認識結果が与えられた場合には、「30 [%]」の確率で「ノード NODE<sub>120</sub> (node 120)」に遷移でき、そのとき「ACTION1」の行動が出力されることとなる。

【0117】各行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> は、それぞれこのような状態遷移表 80 として記述されたノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> がいくつも繋がるようにして構成されており、入力セマンティクスコンバータモジュール 59 から認識結果が与えられたときなどに、対応するノード NODE<sub>0</sub> ~ NODE<sub>n</sub> の状態遷移表を利用して確率的に次の行動を決定し、決定結果を行動切換えモジュール 71 に出力するようになされている。

【0118】図 11 に示す行動切換えモジュール 71 は、行動モデルライブラリ 70 の各行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> からそれぞれ出力される行動のうち、予め定められた優先順位の高い行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> から出力された行動を選択し、当該行動を実行すべき旨のコマンド (以下、これを行動コマンドという。) をミドル・ウェア・レイヤ 40 の出力セマンティクスコンバータモジュール 68 に送出する。なお、この実施の形態においては、図 12 において下側に表記された行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> の優先順位が高く設定されている。

【0119】また、行動切換えモジュール 71 は、行動完了後に出力セマンティクスコンバータモジュール 68 から与えられる行動完了情報に基づいて、その行動が完了したことを学習モジュール 72、感情モデル 73 及び本能モデル 74 に通知する。

【0120】一方、学習モジュール 72 は、入力セマンティクスコンバータモジュール 59 から与えられる認識結果のうち、「叩かれた」や「撫でられた」など、使用者からの働きかけとして受けた教示の認識結果を入力する。

【0121】そして、学習モジュール 72 は、この認識結果及び行動切換えモジュール 71 からの通知に基づいて、「叩かれた (叱られた)」ときにはその行動の発現確率を低下させ、「撫でられた (誉められた)」ときにはその行動の発現確率を上昇させるように、行動モデルライブラリ 70 における対応する行動モデル 70<sub>1</sub> ~ 70<sub>n</sub> の対応する遷移確率を変更する。

【0122】他方、感情モデル 73 は、「喜び (jo

y)」、「悲しみ(sadness)」、「怒り(anger)」、「驚き(surprise)」、「嫌悪(disgust)」及び「恐れ(fear)」の合計6つの情動について、各情動ごとにその情動の強さを表すパラメータを保持している。そして、感情モデル73は、これら各情動のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール59から与えられる「叩かれた」及び「撫でられた」などの特定の認識結果と、経過時間及び行動切換えモジュール71からの通知となどに基づいて周期的に更新する。

【0123】具体的には、感情モデル73は、入力セマンティクスコンバータモジュール59から与えられる認\*

$$E[t+1]=E[t]+k_e \times \Delta E[t]$$

【0125】なお、各認識結果や出力セマンティクスコンバータモジュール68からの通知が各情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば「叩かれた」といった認識結果は「怒り」の情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に大きな影響を与え、「撫でられた」といった認識結果は「喜び」の情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に大きな影響を与えるようになっている。

【0126】ここで、出力セマンティクスコンバータモジュール68からの通知とは、いわゆる行動のフィードバック情報(行動完了情報)であり、行動の出現結果の情報であり、感情モデル73は、このような情報によっても感情を変化させる。これは、例えば、「吠える」といった行動により怒りの感情レベルが下がるといったようなことである。なお、出力セマンティクスコンバータモジュール68からの通知は、上述した学習モジュール72にも入力されており、学習モジュール72は、その通知に基づいて行動モデル701~70nの対応する遷移確率を変更する。

【0127】なお、行動結果のフィードバックは、行動切換えモジュレータ71の出力(感情が付加された行動)によりなされるものであってもよい。

【0128】一方、本能モデル74は、「運動欲(exer\*

$$I[k+1]=I[k]+k_i \times \Delta I[k]$$

【0131】なお、認識結果及び出力セマンティクスコンバータモジュール68からの通知などが各欲求のパラメータ値の変動量 $\Delta I[k]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば出力セマンティクスコンバータモジュール68からの通知は、「疲れ」のパラメータ値の変動量 $\Delta I[k]$ に大きな影響を与えるようになっている。

【0132】なお、本実施の形態においては、各情動及び各欲求(本能)のパラメータ値がそれぞれ0から100までの範囲で変動するように規制されており、また係数 $k_e$ 、 $k_i$ の値も各情動及び各欲求ごとに個別に設定され

\* 識結果と、そのときのロボット装置1の行動と、前回更新してからの経過時間などに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその情動の変動量を $\Delta E[t]$ 、現在のその情動のパラメータ値を $E[t]$ 、その情動の感度を表す係数を $k_e$ として、(4)式によつて次の周期におけるその情動のパラメータ値 $E[t+1]$ を算出し、これを現在のその情動のパラメータ値 $E[t]$ と置き換えるようにしてその情動のパラメータ値を更新する。また、感情モデル73は、これと同様にして全ての情動のパラメータ値を更新する。

【0124】  
【数4】  
... (4)

※cise)」、「愛情欲(affection)」、「食欲(appetite)」及び「好奇心(curiosity)」の互いに独立した4つの欲求について、これら欲求ごとにその欲求の強さを表すパラメータを保持している。そして、本能モデル74は、これらの欲求のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール59から与えられる認識結果や、経過時間及び行動切換えモジュール71からの通知などに基づいて周期的に更新する。

【0129】具体的には、本能モデル74は、「運動欲」、「愛情欲」及び「好奇心」については、認識結果、経過時間及び出力セマンティクスコンバータモジュール68からの通知などに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその欲求の変動量を $\Delta I[k]$ 、現在のその欲求のパラメータ値を $I[k]$ 、その欲求の感度を表す係数 $k_i$ として、所定周期で(5)式を用いて次の周期におけるその欲求のパラメータ値 $I[k+1]$ を算出し、この演算結果を現在のその欲求のパラメータ値 $I[k]$ と置き換えるようにしてその欲求のパラメータ値を更新する。また、本能モデル74は、これと同様にして「食欲」を除く各欲求のパラメータ値を更新する。

【0130】

【数5】

... (5)

ている。

【0133】一方、ミドル・ウェア・レイヤ40の出力セマンティクスコンバータモジュール68は、図10に示すように、上述のようにしてアプリケーション・レイヤ41の行動切換えモジュール71から与えられる「前進」、「喜ぶ」、「鳴く」又は「トラッキング(ボールを追いかける)」といった抽象的な行動コマンドを出力系69の対応する信号処理モジュール61~67に与える。

【0134】そしてこれら信号処理モジュール61~67は、行動コマンドが与えられると当該行動コマンドに

基づいて、その行動を行うために対応するアクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>。(図8)に与えるべきサーボ指令値や、スピーカ24(図8)から出力する音の音声データ及び又は「目」のLEDに与える駆動データを生成し、これらのデータをロボティック・サーバ・オブジェクト32のバーチャル・ロボット33及び信号処理回路14(図8)を順次介して対応するアクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>。又はスピーカ24又はLEDに順次送出する。

【0135】このようにしてロボット装置1においては、制御プログラムに基づいて、自己(内部)及び周囲(外部)の状況や、使用者からの指示及び働きかけに応じた自律的な行動を行うことができるようになされている。

【0136】(3)環境に応じた本能及び感情の変化  
ロボット装置1は、さらに、例えば、周囲が「明るい」ときには陽気になり、これに対して周囲が「暗い」ときには物静かになるなど、周囲の環境のうちの「騒音」、「温度」及び「照度」の3つの条件(以下、環境条件という。)の度合いに応じて感情・本能を変化させるようになされている。

【0137】すなわち、ロボット装置1には、周囲の状況を検出するための外部センサとして、上述したCCDカメラ20、距離センサ22、タッチセンサ21及びマイクロホン23などに加えて周囲の温度を検出するための温度センサ(図示せず)が所定位置に設けられている。対応する構成として、ミドル・ウェア・レイヤ40の認識系60には、騒音検出用、温度検出用及び明るさ検出用の各信号処理モジュール50～52が設けられている。

【0138】騒音検出用の信号処理モジュール50は、ロボティック・サーバ・オブジェクト32のバーチャル・ロボット33を介して与えられるマイクロホン23(図8)からの音声データに基づいて周囲の騒音レベルを検出し、検出結果を入力セマンティクスコンバータモジュール59に出力する。

【0139】温度検出用の信号処理モジュール51は、バーチャル・ロボット33を介して与えられる温度センサからのセンサデータに基づいて周囲の温度を検出し、検出結果を入力セマンティクスコンバータモジュール59に出力する。

【0140】明るさ検出用の信号処理モジュール52は、バーチャル・ロボット33を介して与えられるCCDカメラ20(図8)からの画像データに基づいて周囲の照度を検出し、検出結果を入力セマンティクスコンバータモジュール59に出力する。

【0141】入力セマンティクスコンバータモジュール59は、これら各信号処理モジュール50～52の出力に基づいて周囲の「騒音」、「温度」及び「照度」の度合いを認識し、当該認識結果を上記のようにアプリケーション・モジュール41(図11)の内的状態モデル部

に出力する。

【0142】具体的に、入力セマンティクスコンバータモジュール59は、騒音検出用の信号処理モジュール50の出力に基づいて周囲の「騒音」の度合いを認識し、「うるさい」又は「静か」といった認識結果を感情モデル73及び本能モデル74等に出力する。

【0143】また、入力セマンティクスコンバータモジュール59は、温度検出用の信号処理モジュール51の出力に基づいて周囲の「温度」の度合いを認識し、「暑い」又は「寒い」といった認識結果を感情モデル73及び本能モデル74等に出力する。

【0144】さらに、入力セマンティクスコンバータモジュール59は、明るさ検出用の信号処理モジュール52の出力に基づいて周囲の「照度」の度合いを認識し、「明るい」又は「暗い」といった認識結果を、感情モデル73及び本能モデル74等に出力する。

【0145】感情モデル73は、上述のように、入力セマンティクスコンバータモジュール59から与えられる各種認識結果に基づき(4)式に従って各パラメータ値を周期的に変更する。

【0146】そして、感情モデル73は、入力セマンティクスコンバータモジュール59から与えられる「騒音」、「温度」及び「照度」についての認識結果に基づいて、予め定められた対応する情動についての(4)式の係数 $k$ の値を増減させる。

【0147】具体的には、感情モデル73は、例えば「うるさい」といった認識結果が与えられた場合には「怒り」の情動に対する係数 $k$ の値を所定数増加させ、これに対して「静か」といった認識結果が与えられた場合には「怒り」の情動に対する係数 $k$ の値を所定数減少させる。これにより、周囲の「騒音」に影響されて「怒り」のパラメータ値が変化することになる。

【0148】また、感情モデル73は、「暑い」といった認識結果が与えられた場合には「喜び」の情動に対する係数 $k$ の値を所定数減少させ、これに対して「寒い」といった認識結果が与えられた場合には「悲しみ」の情動に対する係数 $k$ の値を所定数増加させる。これにより、周囲の「温度」に影響されて「悲しみ」のパラメータ値が変化することになる。

【0149】さらに、感情モデル73は、「明るい」といった認識結果が与えられた場合には「喜び」の情動に対する係数 $k$ の値を所定数増加させ、これに対して「暗い」といった認識結果が与えられた場合には「恐れ」の情動に対する係数 $k$ の値を所定数増加させる。これにより、周囲の「照度」に影響されて「恐れ」のパラメータ値が変化することになる。

【0150】これと同様にして、本能モデル74は、上述のように、入力セマンティクスコンバータモジュール59から与えられる各種認識結果等に基づき(5)式に従って各欲求のパラメータ値を周期的に変更する。

【0151】また、本能モデル74は、入力セマンティクスコンバータモジュール59から与えられる「騒音」、「温度」及び「照度」の度合いについての認識結果に基づいて、予め定められた対応する欲求の(5)式の係数 $k_i$ の値を増減させる。

【0152】具体的には、本能モデル74は、例えば「うるさい」や「明るい」といった認識結果が与えられた場合には、「疲れ」に対する係数 $k_i$ の値を所定数減少させ、これに対して「静か」や「暗い」といった認識結果が与えられた場合には「疲れ」に対する係数 $k_i$ の値を所定数増加させる。また、本能モデル74は、「暑い」又は「寒い」といった認識結果が与えられた場合には「疲れ」に対する係数 $k_i$ の値を所定数増加させる。

【0153】この結果、ロボット装置1の行動は、例えば周囲が「うるさい」とときには、「怒り」のパラメータ値が増加しやすく、「疲れ」のパラメータ値が減少しやすくなるために、全体として行動が「いらいら」したような行動となり、これに対して周囲が「静か」などときには、「怒り」のパラメータ値が減少しやすく、「疲れ」のパラメータ値が増加しやすくなるために、全体として行動が「おちついた」行動となる。

【0154】また、ロボット装置1の行動は、周囲が「暑い」とときには、「喜び」のパラメータ値が減少しやすく、「疲れ」のパラメータ値が増加しやすくなるために、全体として行動が「だらけた」ような行動となり、これに対して周囲が「寒い」とときには、「悲しみ」のパラメータ値が増加しやすく、「疲れ」のパラメータ値が増加しやすくなるために、全体として行動が「寒がっている」行動となる。

【0155】また、ロボット装置1の行動は、周囲が「明るい」とときには、「喜び」のパラメータ値が増加しやすく、「疲れ」のパラメータ値が減少しやすくなるために、全体として行動が「陽気」な行動となり、これに対して周囲が「暗い」とときには、「喜び」のパラメータ値が増加しやすく、「疲れ」のパラメータ値が増加しやすくなるために、全体として行動が「物静か」な行動となる。

【0156】以上のようにロボット装置1は構成されており、ロボット装置1は、環境に応じて、感情及び本能を変化させ、その感情及び本能の状態に応じて自律的に行動することができる。

#### 【0157】(4) 本発明の適用

##### (4-1) 全体の説明

上述のロボット装置1において本発明が適用された要部を説明する。ロボット装置1は、画像信号や音声信号(音響信号)等に結びつけて(関連づけて)行動を学習し、学習後は、結びつけられた画像信号や音声信号により行動を引き起こすように構成されている。以下の説明では、学習として行動に音声を結びつける例について主に説明するが、行動に画像を結びつけることもできるこ

とはいうまでもない。具体的には、ロボット装置1は本発明の実現のために次のような構成を有している。ロボット装置1は、図15に示すように、音声認識部101、センサ処理部102、本能情動部103、連想想起記憶部104及び行動生成部105を備えている。

【0158】ここで、音声認識部101は、接触を検出する接触検出手段とされるタッチセンサ(図8に示すタッチセンサ21等)による接触検出と同時に又は時間的前後に入力された情報を検出する入力情報検出手段として機能し、連想想起記憶部104は、接触に応じて出現した行動と、音声認識部101が検出した入力情報(音声信号)とを結びつけて記憶する記憶手段として機能し、行動生成部105は、新たに得られた入力情報(音声信号)に基づいて、連想想起記憶部104により連想された行動をする行動制御手段として機能する。また、センサ処理部102は、例えば、図示しないタッチセンサによる接触検出に応じて行動を出現させる行動出現手段としての機能を有する。具体的には、各構成部分は、次のように機能する。

【0159】音声認識部101は、外部(マイクロホン23)から入力された音声信号を音声処理して、所定の言語として認識する。具体的には、音声認識部101は、HMMを採用して構成されており、HMMによる複数の認識クラスにより、入力された音声を音韻系列として認識する。

【0160】また、音声認識部101では、既存のクラスから学習によりクラスを増加させることも可能である。例えば、図9中(B)に示したように、認識できない音声の入力がなされた場合には、既存のクラスを分割して新たなクラスを生成する。具体的には、入力された音声に対して確信度(所属評価)の高い既存のクラスを分割して、新たなクラスを生成する。例えば、クラスの分割では、当該クラスにおいて特徴性の低い部分を新たなクラスとして分割する。これにより、予め登録してある言語を認識することができるばかりではなく、新規言語を認識できるようにもなる。

【0161】センサ処理部102は、センサ信号の変化に基づいて、教示された動作(行動)の信号を生成する。すなわち、センサ処理部102は、入力された行動情報を認識する。

【0162】例えば、教示される動作については、予め設定されている動作によるものでもよく、使用者により新規に設定される動作によるものでも良い。また、既に設定されている行動のうちのどれか選択して生成することができる。

【0163】予め設定されている動作の教示とは、例えば、タッチセンサからのセンサ信号の入力をトリガー(発火)として動作が教示される、といったようなものである。例えば、「立ち姿勢」において背中後方に設けられた所定のタッチセンサを押したときに、「座り姿

10

20

30

40

50

勢」に遷移させることを予め設定しておいて、実際の場  
面において、「立ち姿勢」においてそのような背中後方  
に設けられているタッチセンサが押されたときに、「座  
り姿勢」への遷移が、動作として教示される、というよ  
うにである。

【0164】なお、このような動作を教示するためのセン  
サを設ける位置については、例えば、頭部、脚部先端  
等であってもよい。このようにセンサを任意に設けるこ  
とで、種々の動作を教示することが可能になる。

【0165】また、新規に設定して行う動作の教示とし  
ては、例えば、動作部（関節部）を制御する信号の変化  
を使用して行うことなどが挙げられる。動作部とは、例  
えば、上述したように、各脚部ユニット3A～3Dの関  
節部分や各脚部ユニット3A～3D及び胴体部ユニット  
2の各連結部分、頭部ユニット4及び胴体部ユニット2  
の連結部分、並びに尻尾部ユニット5の尻尾5Aの連結  
部分などに設けられているアクチュエータ（サーボモ  
ータ等）25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>である。

【0166】例えば、使用者がロボット装置1の動作部  
を強制的に動かした際には、当該動作部に負荷が発生す  
る。このとき動作部への負荷により通常の動作（外部負  
荷のない動作）とは異なる信号、例えば、当該動作部へ  
のサーボ信号が発生する。このような信号に基づけば、  
姿勢の遷移、すなわち動作を把握することが可能であ  
る。このようなことから、このような信号を記憶すること  
により、使用者に強制的に遷移させられた動作を新規  
の動作として学習することができる。このような新規動  
作の教示については、後で詳述する。なお、さらに後で  
詳述することであるが、本発明によりロボット装置1  
は、このような信号の変化から外力（外部負荷）を検出  
して、当該外力を学習するといったこともできるように  
なされている。

【0167】さらに、センサ処理部102は、学習する  
行動をクラス認識することもできる。例えば、入力され  
た行動情報を、行動特徴空間における特徴量からクラス  
認識して、学習することもできる。

【0168】本能情動部103は、上述したような音声  
や行動に結びつけられる情動の情報が格納されている部  
分である。すなわち、本能情報部103は、上述したよ  
うに、本能モデルや感情モデルにより、入力されるセン  
サ信号等によりその本能や感情を変化させている。

【0169】連想想起記憶部104は、上述したような  
音声認識部101、センサ処理部102及び本能情動部  
103からの情報に基づいて学習をして、さらに学習後  
においては、その学習に基づいて、入力された音声や画  
像に対応される行動情報を生成する。例えば、連想想起  
記憶部104は、（1）式及び（2）式を用いて説明し  
た画像と音のクラスとを相関行列として結びつける従来  
手法の連想記憶を採用し、各情報を連想記憶している。

【0170】例えば、連想想起記憶部104は、センサ

処理部102が上述したように、センサ出力から「立ち  
姿勢」から「座り姿勢」への遷移の動作の教示を検出し  
て、同時或いは時間を前後して音声認識部101が“お  
すわり”の言語を認識した場合には、連想想起記憶部1  
04は、「立ち姿勢」から「座り姿勢」への遷移の動作  
と、“おすわり”の発言とを結びつけて記憶（学習）す  
る。これは、一般的に動物の犬に対する「お座り」の教  
示としてなされているようなことである。

【0171】また、連想想起記憶部104は、入力され  
た動作と入力された言語とが対として予め設定されてい  
るときにのみ、その動作と言語とを結びつけて（発火し  
て）学習するようにすることもできる。例えば、上述し  
たようないわゆる「お座り」の動作の教示と同時或いは  
時間を前後して“おすわり”の言語が入力されれば、そ  
の動作を学習（結びつけて記憶）するが、それ以外の言  
語に対しては、動作を学習しないというようにである。

【0172】また、連想想起記憶部104は、認識され  
た動作或いは言語に、本能情動部103から出力される  
本能や感情をも関連づけて学習することもできる。例  
えば、学習時において、音声（言語）が入力された際  
に、恐怖を感じていたとした場合にはそのような音声  
に、そのような感情を結びつけて学習することもでき  
る。

【0173】以上のように連想想起記憶部104は、音  
声、動作或いは感情を関連づけて（結びつけて）学習  
し、学習後には、そのような学習結果に基づいて、入力  
された画像や音声等に対応して、行動情報を生成するよ  
うになる。

【0174】行動生成部105は、そのような連想想起  
記憶部104から出力される行動情報に基づいて行動を  
生成する。例えば、上述したような「お座り」の教示の  
学習後において、連想想起記憶部104が“おすわり”  
の言語が入力された場合には、「立ち姿勢」から「座り  
姿勢」への遷移させる行動を出現させる（引き起こさせ  
る）。

【0175】このように、ロボット装置1は、音声情報  
とセンサ信号の変化とを結びつけて、動作を学習して、  
学習結果として、入力されてくる音声に基づいて行動  
（動作）を発現することができるようになる。

【0176】例えば、「お座り」の動作を学習して、出  
力するまでのロボット装置1における一連の処理は次の  
ようになる。

【0177】学習時には、図16中（A）に示すよう  
に、ロボット装置1は、音声信号（音響信号）と同時或  
いは時間を前後して接触信号が与えられる。音声信号と  
しては、例えば、“おすわり”が入力される。また、接  
触信号を与えるとは、「立ち姿勢」から「座り姿勢」へ  
の遷移の動作の教示により、その動作に関与する動作部  
のセンサ信号に変化を与えることと等価である。なお、  
上述したように所定箇所にタッチセンサ或いは押圧ボタ

ン（例えば、お座り教示ボタン）を設けて、このタッチセンサの操作（押圧）により、そのような動作を教示することもでき、この場合には、接触信号を与えることとは、そのようなタッチセンサの操作による信号の発生をいう。

【0178】このような学習操作により、ロボット装置1は、図16中（A-1）から同図中（A-2）に示すように遷移する動作が教示される。

【0179】そして、ロボット装置1は、学習後には、図16中（B）の（B-1）に示すように、学習時に教示した言葉（音響信号）、例えば、“おすわり”を与えることにより、図16中（B-2）に示すように、学習時に教示した図16中（A-2）と同様な姿勢とされる「お座り」の姿勢に遷移するようになる。

【0180】また、教示する動作については、上述したような動作に限定されない。すなわち、音声入力（発話）と同時或いは時間を前後して、例えば、ロボット装置1の背中を前方に押す、首の下を上方向に押す若しくは下方向に押す又は前脚を持ち上げる等の動作を教示することもできる。このような動作の教示と、入力言語を結びつけることにより、「伏せ」、「立て」或いは「お手」等の動作の教示となる。

【0181】また、例えば、ロボット装置1は、次のような学習をすることもできる。

【0182】先ず、ロボット装置1は、行動の学習として、「蹴る」動作を学習する。具体的には、使用者（教示者）により前脚部が操作されて、物を「蹴る」の動作が学習される。動作の学習は、予め設定されている動作によるものでもよく、新規な動作によるものでもよい。一方で、言語認識により得た言葉“a-k a”と画像認識された赤とを対応させて記憶する。

【0183】このような学習結果として、ロボット装置1は、“あか、けれ”の発話を音声認識して、“赤”の物体に対して、行動生成により蹴る動作を生成する。例えば、赤の対象物の特定は、入力画像をセグメンテーションして、赤色の部分を特定することにより行う。すなわち、赤色に相当するセグメントした物体を対象物として特定する。

【0184】また、上述の実施の形態では、行動と結びつける情報を音声情報としているがこれに限定されるものではない。例えば、画像情報を行動情報に結びつけることができる。この場合、例えば、CCDカメラ20等の撮像手段からの画像信号から特定画像を認識するための画像認識部を備える。

【0185】また、上述の実施の形態では、本能情動部103から出力される本能或いは情動を学習された行動や言語に結びつけられている場合について説明しているが、これに限定されるものではない。例えば、予め設定されている行動や言語に対し、後発的に発生された本能や情動をリンクさせることもできる。

【0186】さらに、ロボット装置1は、出力（実際の行動）により引き起こされた情動とそのきっかけとなった入力（例えば、言語や画像等）と、当該出力とを記憶（学習）することもできる。これにより、ロボット装置1は、学習後の実際の場面において、言語等の入力から、対応される記憶した情動を想起して、本来であればそのような入力に対応される出力をすべきところ、出力（行動）をすることなく、所定の行動を出現させることもできる。

【0187】例えば、ロボット装置1が、ある赤いもの（入力）に触った（行動）時に引き起こされた情動、例えば、熱さを感じたことによる恐怖感（情動）を記憶（学習）することにより、後に赤いものをみる（入力があった）だけで、恐怖を想起して、その恐怖を行動として表出させる（所定の行動を起こす）ことができる。すなわち、赤いものに触るといった過去の動作を出現することなく、他の適切な動作を出現させる。

【0188】例えば、このような場合、上述の連想想起記憶部104が、音声認識部101が検出した音声信号に応じて行動した結果を示す行動結果情報と、当該音声信号とを結びつけて記憶する記憶手段として機能し、行動生成部105が、新たに入力された音声信号に基づいて、連想想起記憶部104が特定した行動結果情報に基づいて行動をする行動制御手段として機能する。

【0189】また、ロボット装置1は、入力信号の特徴空間に、他の入力、情動、行動の空間の影響を与え、当該入力信号のクラス分類に影響を与えることもできる。すなわち、例えば、図12中（A）及び（B）に示すように、画像及び音の特徴空間においてクラスが近似している場合、第3の特徴空間（例えば、行動の特徴空間）を参照して、画像及び音のクラス分類をする。

【0190】具体的には、画像信号で特徴づけられている第1のオブジェクト（画像）の入力に対して、第1の行動をとったとき報償（例えば、「撫でられた」）を得て、画像特徴空間において第1のオブジェクトに非常に近い第2のオブジェクトに対してもクラス分類の結果（画像特徴空間においては近似している旨）として同様に第1の行動をとったときに罰（例えば、「殴られた」）を得た場合には、次回以降の第2のオブジェクトの入力に際しては、第1の行動以外をとるようにする。すなわち、他の特徴空間におけるクラス分類の結果（ここでは行動結果）を利用して、他のクラスの分類に影響を及ぼす、或いはクラス分類の戦略を変更する。

【0191】例えば、このような場合、音声認識部101が、入力情報検出手段、入力情報検出手段が検出した音声信号の特徴量を検出する特徴量検出手段、及び特徴量に基づいて、音声信号を分類する情報分類手段としての機能を有する。ここで、特徴量に基づく音声信号の分類とは、HMMによるクラス分類に該当する。なお、特徴量検出手段としての機能は、後で詳述する図33に示



す特徴量抽出部122により実現され、情報分類手段としての機能は、図33に示すHMM部123により実現される。

【0192】さらに、音声認識部101は、行動生成部105に制御されて行動した結果を示す行動結果情報（例えば、報償、罰）に基づいて、当該行動を引き起こした音声信号の分類（認識クラス）を変更する分類変更手段としての機能を有することになる。なお、連想記憶による学習については、誉められたときにとった行動と刺激（音声、画像、行動等）が結びつけるような学習を行うこともできる。

【0193】以上、ロボット装置1における本発明に係る部分の全体について説明した。次に各部についてさらに具体的に説明する。

【0194】（4-2）任意の動作の学習（センサ処理部の具体例）ロボット装置1は、上述したように、学習する動作（行動）を、予め設定されている動作や任意の動作としている。ここでは、任意の動作の学習、すなわち新規動作の学習について説明する。

【0195】ロボット装置1は、上述したように、サーボモータで各関節が制御されている。ロボット装置1は、CPU10からの角度指定（角度指定情報）により各関節の角度時系列を発生して、その結果として動作を出力している。

【0196】また、サーボ制御部からの信号として、関節につけられたポテンシオメータにより実際の関節の角度、及びモータに与えているパルス信号等を得ることができる。任意の動作の教示は、このようなパルス信号を、上述したような予め設定されている動作を教示するタッチセンサ等のセンサ信号の代わりに使用して実行するものである。

【0197】ロボット装置1は、このような任意の動作の学習をするための具体的な構成として図17中

（A）に示すように、識別部111を備えている。ここで、識別部111は、図15に示したセンサ処理部102が任意の動作を学習するために構成されている場合の具体例となる。識別部111は、各関節モータへの制御信号のパルス幅に基づいて動作を学習する。

【0198】ところで、ロボット装置1は、各姿勢に遷移するようになされていることから、動作の学習の際には、一定の姿勢に留まっていることはない。この場合\*

$$P = P_g \times e_n + I_g \times \sum_{i=0}^n e_i \Delta t + D_g \times \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta T} \quad \dots (6)$$

【0205】ここで、 $e_i$  は、時刻  $i$  でのエラー値（ポテンシオメータの目標角度と現在角度（実際の角度）の差分）であり、 $P_g$ 、 $I_g$ 、 $D_g$  は定数であり、このような（6）式の  $P$  値を使用する。

【0206】例えば、与えるパルス幅及び動作の情報としては、ベクトル値とする。例えば、学習する動作に割り当てられる情報として、5次元のベクトル  $[V_0, V$

\* 合、「立ち姿勢」や「座り姿勢」等の各姿勢において、同様な動作を学習させる必要がある。よって、動作部（関節部）を制御するパルス幅によって動作を教示するような場合、各姿勢を把握した上で行うことが必要になる。

【0199】このようなことから識別部111は、図17中（B）に示すように、各姿勢に応じて複数の識別器  $111_1, 111_2, \dots$  を備えている。例えば、第1の識別器  $111_1$  は、「座り姿勢」時の動作学習用、第2の識別器  $111_2$  は、「立ち姿勢」時の動作学習用というようにである。

【0200】識別部111は、このように複数の識別器  $111_1, 111_2, \dots$  から、現在の姿勢情報に基づいて、所望の1の識別器に切換えて、任意姿勢における動作の学習をする。

【0201】なお、現在の姿勢の情報である姿勢情報は、各ポテンシオメータ  $26_1 \sim 26_n$ 、角速度センサ18或いは加速度センサ19から得られる情報、例えば重力情報から認識することができる。また、行動生成部105から動作部の制御信号として出力されるコマンドに基づいて、現在の姿勢情報を得ることもできる。

【0202】学習については、外力を与えていない状態のパルス幅との比較によって行う。これは、通常の状態では各関節がとるパルス幅はある程度の誤差範囲内で決まったパターンとなっているが、外力が加わっているとそのパターンは通常のものとは異なるものになる。このような関係を利用し、通常動作と、外力を加えて動作を教示する際のパターンとの差異から、学習される動作の情報を得る。具体的には、次のようにして動作を学習する。

【0203】例えば、姿勢情報から立ち姿勢であると認識された場合、第1の識別器  $111_1$  に対して、動作学習のために外力を加えたときのパルス幅を情報として与え、同時に、その動作に割り当てられる情報を与える。例えば、動作学習において使用するパルス幅は、（6）式に示すように、いわゆるPID制御として使用する信号を使用する。そして、具体的には、PWM制御されたパルス幅を使用する。

【0204】

【数6】

$[V_1, V_2, V_3, V_4]$  とする。ここで、ベクトルの要素を  $V_0, V_1, V_2, V_3, V_4$  の5個にすることにより、5種類の刺激を認識することができる。具体的には、以下のようにして学習を行う。

【0207】背中を後ろ方向に押したとき（backward）には、そのときに発生したパルス幅で構成したベクトル  $P_i$  及び対応される動作の情報として  $O_i = [0, 1,$

0, 0, 0] を与える。例えば、図 18 に示すように、識別器 111 に、パルス幅のベクトル値 (backward)  $P_1$  及び [0, 1, 0, 0, 0] を与える。

【0208】ここで、各値  $V_0, V_1, V_2, V_3, V_4$  は、0 から 1 の間の実数 (浮動小数点) として学習され、その刺激 (学習) される部分が大きいほど 1 とされる。例えば、 $O_1 = [0, 1, 0, 0, 0]$  による行動の取得による結果としてベクトルが [0.1, 0.9, 0.2, 0.1, 0.3] といった実数として得られる。

【0209】また、背中を前方向に押したときには、そのときに発生したパルス幅で構成したベクトル  $P_2$  及び対応される動作の情報として  $O_2 = [0, 0, 1, 0, 0]$  を与え、首を下方向に押したときには、そのときに発生したパルス幅で構成したベクトル  $P_3$  及び対応される動作の情報として  $O_3 = [0, 0, 0, 1, 0]$  を与え、首を上押し上げたときには、そのときに発生したパルス幅で構成したベクトル  $P_4$  及び対応される動作の情報として  $O_4 = [0, 0, 0, 0, 1]$  を与える。そして、例えば、姿勢の初期値として、外力が加わっていないときのパルス幅のベクトル  $P$  及びそれに対応される動作の情報として  $O_0 = [1, 0, 0, 0, 0]$  を与え、これと上述した値と比較して動作を学習する。

【0210】例えば、パルス幅の例を図 19 乃至図 25 に示す。この図 19 乃至図 25 では、横軸に各関節の位置を示し、縦軸にいわゆる PWM パルスの値を示す。

【0211】図 19 は、立ち姿勢におけるパルス幅 (パルス信号の値) の値を示している。ここで、図中、「FR1」は、右前脚の第 1 関節 (肩の関節) の位置、「FR2」は、その第 2 関節 (膝の関節) の位置、「FR3」は、その第 3 関節 (足首の関節) の位置である。また、「FL1」は、左前脚の第 1 関節 (肩の関節) の位置、「FL2」は、その第 2 関節 (膝の関節) の位置、「FL3」は、その第 3 関節 (足首の関節) の位置である。また、「HR1」は、右後脚の第 1 関節 (肩の関節) の位置、「HR2」は、その第 2 関節 (膝の関節) の位置、「HR3」は、その第 3 関節 (足首の関節) の位置である。また、「HL1」は、後左脚の第 1 関節 (肩の関節) の位置、「HL2」は、その第 2 関節 (膝の関節) の位置、「HL3」は、その第 3 関節 (足首の関節) の位置である。また、「Head1」、「Head2」、「Head3」は、首が多関節からなりそれぞれに対応される位置を示す。以下の図 20 乃至図 25 においても同様である。このように、ある状態 (姿勢或いは動作) において、全 15 個のパルス幅の値を得ることができ、すなわち、上述した学習に使用するベクトル値  $P$  を、15 次元の要素からなるベクトル値として得ることができる。

【0212】立ち姿勢において背中を前方向に押したときには、図 20 に示すようなパルス幅となり、立ち姿勢において背中を後方に押したときには、図 21 に示すよ

うなパルス幅となり、立ち姿勢において頭を上方向に押したときには、図 22 に示すようなパルス幅となり、立ち姿勢において頭を下方向に押したときには、図 23 に示すようなパルス幅となり、座り姿勢において右脚を持たれたときには、図 24 に示すようなパルス幅となり、座り姿勢において左脚を持たれたときには、図 25 に示すようなパルス幅となる。識別部は、このようなパルス幅に基づいて、姿勢を把握して、動作を学習する。

【0213】また、ロボット装置 1 は、図 26 に示すように、快及び不快判定部 112 を備えることにより、実際の動物に行うと同様に、動作を学習することができ

る。

【0214】快及び不快判定部 112 は、センサ処理部 102 からの出力に対して、快或いは不快を規定する情動の値の判別をする。そして、それに応じて行動情動を出力する。例えば、快及び不快判定部 112 は、感情モデル 73 における不快を規定する情動の値が大きいとき、不快を回避する行動を引き起こす行動情報を出力する。例えば、背中を後方向に押されたら、不快と判断して、「座り姿勢」に遷移する行動情報を出力する。また、背中を前方向に押され、或いは頭を下方向に押されたら、不快と判断して、「伏せ姿勢」に遷移する行動情報を出力する。また、伏せ姿勢から首を上方向に持ち上げられたら、不快と判断して、「座り姿勢」に遷移する行動情報を出力する。また、座り姿勢から首を上方向に持ち上げられたら、不快と判断して、「立ち姿勢」に遷移する行動情報を出力する。すなわち、上述のような動作は、外部からの負荷が大きく、不快と感じることにより発現される動作である。このような行動情報に基づいて行動生成部 105 は行動を生成する。

【0215】このように動作を発現させることにより、実際の犬等に姿勢の学習をさせると同様に、不快と感じたロボット装置 1 は自ら姿勢を遷移し、このよう遷移動作を学習する。

【0216】なお、上述したような動作の学習は複数回の入力することにより行う。また、他の姿勢 (他の識別器) についても、学習を行う。そして、各識別器の構成については、例えば、階層型ニューラルネットワークを採用した学習がなせるように構成する。例えば、3 層のニューラルネットワークの場合は、図 27 に示すように、入力層、中間層及び出力層から構成する。このような場合、概略として次のような手順により学習がなされる。

【0217】入力層では、当該入力層に対応された形態されたセンサ信号等が各ニューロンに入力される。中間層では、入力層の各ニューロンから伝えられたデータの特徴量を抽出する。具体的には、中間層の各ニューロンは、入力データの何らかの特徴に着目して、その特徴量を抽出して評価する。そして、出力層は、中間層の各ニューロンから与えられる特徴を組み合わせてることによ

て最終的な決定を行う。

【0218】また、例えば、上述したような3層のニューラルネットワークにおいては、バックプロパゲーションによる学習が確立されており、例えばこれを採用して識別器を構成する。これにより、背中を後ろ方向に押し、 $O_1 = [0, 1, 0, 0, 0]$  が入力させて、出力として  $[0, 1, 0, 0, 0]$  に近い値（実数）が出力されるようになる。

【0219】以上のようにして、ロボット装置1は、識別部111により、任意の動作を学習することができ、これにより、画像信号や音声信号を結びつけて学習することにより、ロボット装置1は、所定の発話（音声信号）に対して、当該発話に対応して学習した動作を発現するようになる。

#### 【0220】

（4-3）ロボット装置に与えられた外力の学習

上述の任意の動作の学習においては、外力を与えて強制的に変化した際の姿勢を学習することで、所定の発話等に結びつけて発現する動作（姿勢）を学習する場合について説明した。ここでは、そのような外力の種類の学習について説明する。ロボット装置1は、外力の種類を学習することにより、学習した外力が入力された際には、所定の動作を発現することができる。具体的には、ロボット装置1は、腰に与えられる外力を学習して、学習後において腰に対して学習した外力が与えられた場合に、この外部からの力入力を認識し、所定の動作としてお座りを出現するようなことができる。以下、具体的に、外力の学習について説明する。

【0221】ロボット装置1は、外力の学習のための構成として、図28に示すように、動作部材151と、動作部材151を動作させるための関節部152と、動作部材151を介して外力が作用している関節部152の状態を検出する検出手段153と、検出手段153が検出した関節部152の状態と外力とを対応させて学習する学習手段160とを備えている。そして、学習後においては、ロボット装置1は、外力が与えられた場合、関節部152の状態からその種類を特定することができる。ここで、動作部材151は、ここで、ロボット装置1は、図7及び図8に示すように、胴体部ユニット2、脚部ユニット3A、3B、3C、3D、胴体部ユニット2及び頭部ユニット4等のアクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>によって駆動される部分である。また、関節部152は、そのようなアクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>であって、具体的には、アクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>を構成しているモータである。

【0222】このような構成とすることにより、ロボット装置1は、モータに与えられるPWMのパルス信号を使用して外力の学習を行えるようになされている。ロボット装置1は、上述したように、胴体部ユニット2、脚部ユニット3A、3B、3C、3D、胴体部ユニット2

及び頭部ユニット4等が関節（ジョイント）を介した動作部材とされ、さらに、脚部ユニット3A、3B、3C、3Dが複数の関節（肩関節、膝関節、足首関節）を介した複数の動作部材からなり、胴体部ユニット2の前後左右にそれぞれ脚部ユニット3A、3B、3C、3Dが関節を介して連結されると共に、胴体部ユニット2の前端部及び後端部にそれぞれ頭部ユニット4及び尻尾部ユニット5が関節を介して連結されて構成されている。そして、これら動作部材を動作可能に接合する関節は、アクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>によって構成されており、PWMのパルス信号は、このアクチュエータ25<sub>1</sub>～25<sub>n</sub>を構成しているモータに与えられる信号である。

【0223】PWMのパルス信号のその幅の値は、動作部材（各種ユニット）151を介して外力が作用している関節部（モータ）152の状態によって決定されるものであり、すなわち各ジョイント（モータ）の目標角度と実際の角度とのエラー値として計算されるものであり、このようなことから、ロボット装置1に力が加われば、エラー値が大きくなり、これによりパルス幅の値も大きくなる。すなわち、PWMのパルス幅の値は、ロボット装置1に加わる外力に従って大きくなる。ロボット装置1は、外力の学習を、このようなPWMのパルス信号を使用して行っている。検出手段153は、具体的にはこのようなPWMのパルス幅の値を、動作部材151を介して外力が作用している関節部152の状態として検出している。なお、上述したように、PWMのパルス信号のその幅の値は、各ジョイント（モータ）の目標角度と実際の角度とのエラー値（差分）として計算されるものであることから、検出手段153が検出する関節部152の状態とは、各ジョイント（モータ）の目標角度と実際の角度とのエラー値である言うこともできる。なお、検出手段153は、例えば、図8等に示す信号処理回路14の一機能として実現され、又はソフトウェア或いはオブジェクトプログラムによって実現される。

【0224】ここで、実施の形態では、後で詳述するが、外力の学習用のPWMのパルス信号として、脚部ユニット3A、3B、3C、3Dの関節となるモータに与えられるPWMのパルス信号と、胴体部ユニット2と頭部ユニット4の関節となるモータに与えられるPWMのパルス信号とを使用している。上述した図19～図25は、様々な外力が加わった場合のそのような外力の学習に使用される各関節部（モータ）のPWMのパルス信号の変化を示すものであり、様々な外力に応じたパターン変化を示すものである。なお、図20に示す「前方へ押す」の際のパターンと図21に示す「後方に押す」の際のパターンとを比較してみてもわかるように、PWMパルス幅の値が0（x軸）について略対象となっている。

【0225】外力の学習では、上述したような様々な外力が加えた際のこのようなパターン（詳しくはベクトル

値)を学習用のデータとして利用して、学習手段160においてニューラルネットワークを利用した学習を行っている。例えば、学習手段160は、ソフトウェア或いはオブジェクトプログラムによって実現される。

【0226】ニューラルネットワークとして、階層結合型ネットワークの、特にバックプロパゲーションによるニューラルネットワークを利用して学習している。バックプロパゲーションによるニューラルネットワークは、パターン認識への適応性が高く、実施の形態では、図29及び図30に示すように、入力層161、隠れ層(中間層)162及び出力層163の3層からなる3層バックプロパゲーションによるニューラルネットワークによる学習を行っている。

【0227】このような3層バックプロパゲーションによるニューラルネットワークにより、学習後においては、センサからの情報(パルス幅の値) $D_{in}$ が入力層161に入力されると、出力層163からそのようなセンサからの情報 $D_{in}$ に対応される学習された外力の種類の情報 $D_{out}$ が出力されるようになる。

【0228】このような3層バックプロパゲーションによるニューラルネットワークにおける入力層161、隠れ層162及び出力層163は具体的には次のように構成されている。

$$Input = \frac{P + |P_{min}|}{P_{max} + |P_{min}|}$$

【0233】ここで、 $P$ は実測されたパルス幅の値であり、 $P_{max}$ は最大値(512)であり、 $P_{min}$ は最小値(-512)である。また、姿勢に関しての入力データは、[0, 1]のため(0又は1のどちらかの値をとるため)、正規化は必要ない。

【0234】隠れ層162は、複数のニューロンを有しており、実施の形態では17個のニューロンを有している。このニューロンの数は、いわゆるタンブ法により決\*

$$\begin{aligned} numOfHidden &= \frac{numOfInput + numOfOutput}{2} + 2 \\ &= 14 + \alpha \end{aligned}$$

【0236】ここで、 $numOfInput$ は入力層161のニューロン数であり、 $numOfOutput$ は出力層153のニューロン数であり、 $\alpha$ はスムージングにより増減する値となる。この(8)式に入力層161のニューロン数 $numOfInput$ として18、後述の出力層153のニューロン数 $numOfOutput$ として10を代入すると、隠れ層162のニューロン数 $numOfHidden$ は17になる。

【0237】出力層163は、複数のニューロンを有しており、実施の形態では10個のニューロンを有している。ここで出力層163のニューロン数が10個とある

\*【0229】入力層161は、複数のニューロンを有しており、実施の形態では18個のニューロンを有している。すなわち、入力層161には、外力の学習のために18のデータが入力される。例えば、ロボット装置1は、現在の姿勢として「立ち姿勢(Standing)」、「座り姿勢(お座り姿勢、Sitting)」、「寝姿勢(Sleeping)」といった3種類あり、各ジョイント(各関節部のモータ)のPWMパルス幅の値が15種類(4脚 $\times$ 3=12種類と頭部には3種類があり計15種類)あり、このようなことから、その総計の18種類が入力データとされている。

【0230】ここで、現在の姿勢の入力をも外力の学習に用いているのは、ジョイント(関節)の状態が姿勢に依存するからであり、すなわちそのパルス幅の値が姿勢に依存するからである。

【0231】このような入力層161に、各パルス幅の値からなるベクトル値とされたパターンがセンサからの情報 $D_{in}$ として入力される。なお、実施の形態では、入力値であるパルス幅の値は、[-512, 512]の範囲内で値をとるため、(7)式により正規化している。

【0232】

【数7】

... (7)

※定している。すなわち、入力層161のニューロンの数と出力層163のニューロンの数との平均をとり、得られた値のスムージングを行うことにより決定した。タンブ法による隠れ層162のニューロン数 $numOfHidden$ は、式で表すと(8)式のようにになる。

【0235】

【数8】

... (8)

が、これは、10種類の外力を学習により認識することができることを示唆し、例えば、前に押された(ForceForward、図20に示した外力)、後ろに押された(ForceBackward、図21に示した外力)、右手を持たれた(RightHandUp、図24に示した外力)、左手を持たれた(LeftHandUp、図25に示した外力)、両手を持たれた(BothHandUp、図示なし)、頭を上を押された(HeadUp、図22に示した外力)、頭を下を押された(HeadDown、図23に示した外力)、頭を右に押された(HeadRight、図示なし)、頭を左に押された(HeadLeft、図示な

し)、押されていない(NoForce、例えば図9に示した状態)等として10種類の外力を認識することができる。

【0238】このように入力層161、隠れ層162及び出力層163が構成されており、隠れ層162及び出力層163で使用される入出力関数については種々挙げられるが、実施の形態ではいわゆるシグモイド関数を使用している。シグモイド関数は、例えば、図31に示すように、いわゆる閾値関数等と異なり入力に対して出力がなめらかに変化する特性を有している。

【0239】このような3層バックプロパゲーションによるニューラルネットワークを使用して、種々の外力の学習が次のようになされる。

【0240】学習は、図30に示すように、入力ベクトルデータ及び教師信号ベクトルデータの対をネットワーク(学習手段160)に与えることにより行う。教師ベ\*

$$y_j^{(1)} = \text{sigmoid} \left( \sum_{i=0}^{\text{numOfInput}} w_{ij} a_i \right) \quad \dots (9)$$

【0243】

$$y_j^{(2)} = \text{sigmoid} \left( \sum_{i=0}^{\text{numOfHidden}} w_{ij}^{(2)} y_i^{(1)} \right) \quad \dots (10)$$

【0244】

$$w_{ij}^{(m+1)}(t) = w_{ij}^{(m+1)}(t-1) - \varepsilon y_i^{(m)}(t) z_i^{(m+1)} + \beta w_{ij}^{(m+1)}(t-1) \quad (m=0,1) \quad \dots (11)$$

【0245】

$$\text{Sigmoid}(x) = 1 / (1 + \exp(-x)) \quad \dots (12)$$

【0246】ここで、 $a_i$ は入力される各パルス幅の値であり、 $z_i$ は誤差逆伝播出力であり、 $\varepsilon$ は学習関数であり、 $\beta$ はモーメント係数である。 $\varepsilon$ (学習関数)及び $\beta$ (モーメント係数)は、学習速度に大きく影響する因子であり、例えば、実施の形態のように構成されたロボット装置1の場合には、 $\varepsilon=0.2$ 、 $\beta=0.4$ とすることで学習速度を最適なものとすることができる。

【0247】そして、複数回の入力ベクトルデータの入

$$\text{error} = \frac{\sum |t_c - a|^2}{\text{numOfOutput}}$$

【0249】ここで、 $a$ は入力ベクトルデータであり、 $t_e$ は教師ベクトルデータである。

【0250】例えば、学習手順は、オンライン学習(逐次学習)で、同じデータを10回繰り返し学習するようにする。また、同じパターンのデータも略20個連続で学習させる。これにより、総計略800サンプルによる学習がなされることになる。

\*クトルデータは、ある特定のニューロンの出力が1で、それ以外は0になるように与える。すなわち例えば、認識させたい種類の外力を1として、認識する必要がない外力の種類を全て0として与える。

【0241】このとき、中間層162が入力により得られる出力 $y_j^{(1)}$ は(9)式に示されるようなシグモイド関数 $\text{sigmoid}()$ によって得られ、また、出力層163が入力により得られる出力 $y_j^{(2)}$ は(10)式に示されるようなシグモイド関数 $\text{sigmoid}()$ によって得られる。そして、重みの更新、すなわち重みの学習は、(11)式によってなされる。ここで、シグモイド関数 $\text{sigmoid}()$ は(12)式のように示される関数である。

【0242】

【数9】

◆力と教師ベクトルデータの入力とを行い、ニューラルネットワークに入力された入力ベクトルデータと教師ベクトルデータとの誤差がある閾値以下に収束したとき学習を終了する。例えば、(13)式に示すような平均2乗誤差errorがある閾値以下に収束したときに学習を終了する。

【0248】

【数13】

...

【0251】図32には、学習回数と平均2乗誤差との関係の一例を示している。この図32に示す結果は、学習回数が約50回で上述の平均2乗誤差が極小になっており、これは、学習が約50回で収束していることを示している。なお、通常、重み係数の初期値はランダムに与えるので、その初期値によっては学習が収束の程度が異なってくる。すなわち、初期値によっては、このよう

に約50回で学習が収束することもあるが、場合によっては、学習を収束させるまで150回程度要する場合もあるということである。

【0252】以上のような手順により3層バックプロパゲーションによるニューラルネットワークを使用した学習がなされる。これにより、ロボット装置1は、複数種類の外力の入力（複数回の入力）により、関節部152の状態（例えば、PWMパルス幅の値）に対応させて当該複数種類の外力を学習して、外力をカテゴリゼーション（分類化）することができる。なお、例えば、うまくカテゴリゼーションされているか否か或いは過学習しているか否かは、ロボット装置1によるいわゆる汎化性テストを行うことにより確認することができる。

【0253】具体的には、このような外力の学習により、ロボット装置1は、腰に外力が与えられた場合、学習した複数種類の外力から当該外力が腰に作用していることを認識して、具体的には各関節部152に与えられる各PWMパルス幅の値（パターン）から当該外力が腰に作用していることを認識して、対応される所定の動作としてのお座りを出現させることができるようになる。このようにロボット装置1は、任意の外力を学習すること\*

$$f(x) = \sum_{j=1}^n v_j x_j + b$$

【0257】ここで、教師ラベルを  $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$  とすると、(15)式のような制約条件の下で、 $\|v\|^2$  を最小化する問題を考えれば良※

$$\text{制約条件: } y_j(v^T x_j + b) \geq 1$$

\*ができ、これにより、ユーザからの接触（外力）によるインタラクションの自由度を高くして、多くの動作を出現させることができるようになる。

【0254】なお、ここでは、学習部における学習を3層バックプロパゲーションによるニューラルネットワークを利用して行う場合について説明したが、学習部では他の学習手法を利用することができるというまでもない。例えば、SVM (Support Vector Machine) を用いて、外力をカテゴリゼーションすることもできる。SVMは、パーセプトロンと同様に線形分類する方法であるが、データを非線形な空間に一度写像し、その空間内で分離する超平面を求めるため、事実上非線形な問題を解くことができる。以下にその原理を示す計算式を示す。

【0255】通常、パターン認識の問題は、テストサンプル  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  とした場合に対して、(14)式に示す認識関数  $f(x)$  を求めることができる。

【0256】

【数14】

$$\dots (14)$$

※い。

【0258】

【数15】

$$\dots (15)$$

【0259】このような制約のついた問題は、ラグランジュの未定乗数法を用いて解くことができる。ラグランジュ乗数を導入すると、(16)式のように示すことが★

★できる。

【0260】

【数16】

$$L(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|v\|^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i \left( y_i (x_i^T v + b) - 1 \right)$$

$$\dots (16)$$

【0261】ここで、 $b$  及び  $v$  について (17) 式のよに編微分すると、(18)式に示すような二次計画問題を落とすことができる。(19)式には制約条件を示す☆

☆している。

【0262】

【数17】

$$\frac{\partial L}{\partial b} = \frac{\partial L}{\partial v} = 0$$

$$\dots (17)$$

【0263】

◆ ◆ 【数18】

$$\max \sum \alpha_i - \frac{1}{2} \sum \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j$$

$$\dots (18)$$

【0264】

\* \* 【数19】

$$\text{制約条件: } \alpha_i \geq 0, \sum \alpha_i y_i = 0$$

$$\dots (19)$$

【0265】特徴空間の次元数が、訓練サンプルの数よりも少ない場合は、スラック変数  $\xi \geq 0$  を導入して、制約条件を (20) 式のように変更する。

【0266】

【数20】



$$\begin{array}{c} 43 \\ \text{制約条件: } y_i (v^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i \end{array}$$

$$\begin{array}{c} 44 \\ \dots (20) \end{array}$$

【0267】最適化については、(21)式の目的関数 \* 【0268】  
を最適化する。 \* 【数21】

$$\frac{1}{2} \|v\|^2 + C \sum \xi_i \quad \dots (21)$$

【0269】ここで、Cは、制約条件をどこまで緩める ※を示している。  
かを指定する係数で、実験的に値を決定する必要がある 【0270】  
る。ラグランジュ乗数 $\alpha$ に関する問題は、(22)式の 【数22】  
ように示すように変更される。(23)式には制約条件※10

$$\max \sum a_i - \frac{1}{2} \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j \quad \dots (22)$$

【0271】 制約条件:  $0 \leq \alpha_i \leq C, \sum \alpha_i y_i = 0$  ★ ★ 【数23】

... (23)

【0272】しかし、ここまででは、非線形の問題を解くことはできないため、非線形な写像関数であるカーネル関数 $K(x, x')$ を導入し、一度高次元の空間に写像してその空間で線形分離することを考える。こうすることによって、元の次元では、非線形分離をしていること

$$K(x, x') = \Phi(x)^T \Phi(x')$$

... (24)

【0274】 ◆ ◆ 【数25】

$$\begin{aligned} f(\Phi(x)) &= v^T \Phi(x) + b \\ &= \sum \alpha_i y_i K(x, x_i) + b \end{aligned}$$

... (25)

【0275】学習に関しても、(26)式に示すように \* 【0276】  
なる。(27)式には制約条件を示している。 \* 【数26】

$$\max \sum a_i - \frac{1}{2} \sum \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad \dots (26)$$

【0277】 ※ ※ 【数27】

$$\text{制約条件: } 0 \leq \alpha_i \leq C, \sum \alpha_i y_i = 0 \quad \dots (27)$$

【0278】カーネル関数としては、ガウシアンカーネルの(28)式等を用いることができる。 ★ 【0279】  
★ 【数28】

$$K(x, x') = \exp\left(-\frac{\|x - x'\|^2}{\sigma^2}\right) \quad \dots (28)$$

【0280】以上のような原理により、SVMによる行動のカテゴリ化が可能になる。

【0281】また、ここでは、ロボット装置1がジョイント(関節部)の状態に基づいて外力を学習する場合について説明したが、ジョイントの状態からロボット装置1に作用する外力を検出することに留まるだけでも良い。すなわち、この場合、ロボット装置1は、動作部材を動作させるための関節部の状態を検出する検出手段

と、検出手段が検出した関節部の状態に基づいて動作部材に作用する外力を検出する外力検出手段とを備える。例えば、ここでいう検出手段は、上述の図28に示した検出手段153である。

【0282】このようなロボット装置1は、関節部の状態に基づいて外力があったことを検出することができる。そして、例えば、検出手段と外力検出手段とはソフトウェア或いはオブジェクトプログラムとして実現可能

であり、よって、このようなロボット装置 1 は、特別（専用）なセンサを装備することなく、外力が加わっていることを検出することができるようになる。また、ロボット装置 1 は、上述したような外力を学習する場合に際しても新たな構成を備えることなく外力の学習が達成されていると言える。

【0283】なお、ロボット装置 1 におけるこのような外力を検出する構成は、いわゆる外力検出装置としての構成であり、この外力検出装置としての構成は、ロボット装置 1 に適応されることに限定されないことはいうまでもない。

【0284】また、本例では、外力の学習用の PWM のパルス信号として、脚部ユニット 3 A、3 B、3 C、3 D の関節となるモータに与えられる PWM のパルス信号と、胴体部ユニット 2 と頭部ユニット 4 の関節となるモータに与えられる PWM のパルス信号とを使用した場合を説明したが、これに限定されるものではなく、他の関節を構成するモータの PWM のパルス信号を外力の学習用に使用することもできる。

【0285】また、本例では、PWM のパルス信号を外力の学習用に使用している場合について説明したが、これに限定されるものではなく、外力に応じて変化する信号を外力の学習用に使用することができる。

#### 【0286】

##### （4-4）音声信号の認識（音声認識部の具体例）

次に、音声信号の認識について具体的に説明する。ロボット装置 1 は、図 33 に示すように、音声信号を認識する部分として、音声信号入力部 121、特徴量抽出部 122、HMM 部 123 を備えている。ここで、特徴量抽出部 122 及び HMM 部 123 からなる構成は、図 15 に示した音声認識部 101 の具体例となる。

【0287】音響信号入力部 121 は、周囲の音等が入力される部分である。例えば、上述のマイクロホン 23 である。この音響信号入力部 121 からの音響信号（音声信号）は、特徴量抽出部 122 に出力される。

【0288】特徴量抽出部 122 は、音響信号の特徴量を検出して、後段の HMM 部 123 に出力する。

【0289】HMM 部 123 は、Hidden Markov Model を採用し、特徴量に基づいて、入力されてきた音響信号のクラス分類をする。例えば、複数に分類されているクラスに基づいて、音響信号を識別する。そして、HMM 部 123 は、各クラスにおける認識結果を、例えば、各クラスに対応される単語と思われる確率として出力する。例えば、ベクトル値として出力する。

【0290】以上のような構成により、ロボット装置 1 は、マイクロホン 23 等から入力される音声信号を音韻系列として識別する。

【0291】そして、図 34 に示すように、音声認識部 101 により HMM により認識された言語の情報

[S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>] が、センサ認識部 102 により取

得した動作の情報 [V<sub>0</sub>, V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>] とともに、連想想起記憶部 104 に入力される。

【0292】連想想起記憶部 104 では、学習時において、これらの情報を結びつけて記憶する。そして、連想想起記憶部 104 は、学習後には、入力された情報に基づいて行動情報を出力する。例えば、ベクトル値の行動情報 [B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>] を出力する。

【0293】例えば、学習において、図 35 に示すように音声認識結果としての“おすわり (backward)”の言語と、行動の取得による結果としてベクトル [0.1, 0.9, 0.2, 0.1, 0.3] が入力されている場合において、学習後に、“おすわり (backward)”が入力されたときには、「お座り」の動作 [0, 1, 0, 0, 0] を行動情報として出力する。

【0294】以上、ロボット装置 1 における連想想起による学習について説明した。次に、学習対象物の特定を容易にする共同注意を取り入れた学習について説明する。

#### 【0295】（5）共同注意

ロボット装置 1 による音声や画像を学習する場合、周囲のノイズから特定の音や画像を特定して、これを学習の対象（学習対象物、ターゲットオブジェクト）とすることが前提とされる。共同注意は、そのような学習対象物を特定を容易にするものである。例えば、共同注意は、学習対象物を振る或いは揺する（視覚刺激）、又は声を発して指示する（聴覚刺激）等の被教示者が学習対象物を特定させるための刺激を発生させることにより可能となる。

【0296】ロボット装置 1 は、共同注意のための構成として、図 36 に示すように、画像信号入力部 131、セグメンテーション処理部 132 及び学習対象物検出部 133 を備えている。ここでセグメンテーション処理部 132 及び学習対象物検出部 133 は、学習対象物を特定する学習対象物特定手段として機能する。そして、上述の行動生成部 105 が、そのような学習対象物特定手段が特定した学習対象物の情報が記憶された連想想起記憶部 104 の当該学習対象物の情報と、新たな検出した物の情報とに基づいて行動をする行動制御手段として機能する。

【0297】画像信号入力部 131 は、周囲を撮像する部分であり、具体的には、図 8 に示した CCD カメラ 20 である。この画像信号入力部 131 から入力された画像信号はセグメンテーション処理部 132 に入力される。

【0298】セグメンテーション処理部 132 は、画像信号からセグメンテーションを行う。例えば、色によるセグメンテーションを行う。セグメンテーションとは、画像内において領域を特定し、その特徴量を調べる、或いは特徴空間に写像することを意味する。このセグメンテーションにより、撮像した画像内において、学習対

10

20

30

40

50

象物と周囲の画像との差別化が可能となる。セグメンテーション処理部132においてセグメンテーションされた画像信号は、後段の学習対象物検出部133に入力される。

【0299】学習対象物検出部133は、セグメンテーションされた画像情報から注意部分（学習対象物）を検出（特定）する。例えば、セグメンテーションされた画像情報から動きのある部分、すなわち時間系列において変化のある部分を特定領域として、ある条件を満たしたとき学習対象物として検出する。具体的には、次のように、学習対象物の検出がなされる。

【0300】まず、セグメンテーションされた画像において、動きのある部分（時間的に変化している部分）を特定領域として、注意量を設定する。ここで、注意量は、学習対象物特定のための指標となるものである。動きにより学習対象物を特定する場合には、注意量は動きにより変化する量となる。

【0301】そして、その特定領域を追尾して、注意量により学習対象物か否かを判別する。その注意量がある条件を満たせば、学習対象物として特定、すなわちロボット装置1が“注意を払う”ようにする。

【0302】動きにより学習対象物を特定することについては、人間世界でもそうであるが、教示者は、学習対象物を教示する際には、当該学習対象物を振って或いは揺すって被教示者に教示するからである。例えば、「コップ」であることを教示する際には、教示者は、「コップ」を振りながら、被教示者に“コップ”と言って教示するようにである。

【0303】学習対象物検出部133は、特定領域を追尾して注意量が所定の値、例えば、動きが所定量の変化を示したとき、学習対象物として特定して、注意を払うようにする。具体的には、注意量がある閾値（ステップ）以上を超えた場合に注意を払うようにする。

【0304】このように、学習対象物検出部133は、セグメンテーション処理部132によって特定領域に注意量を設定して、学習対象物を検出（特定）している。

【0305】以上のような画像信号入力部131、セグメンテーション処理部132及び学習対象物検出部133を備えることにより、ロボット装置1は共同注意を可能としている。

【0306】これにより、ロボット装置1は、学習対象物を適切に特定して、上述したように、画像情報或いは行動と結びつけた学習を適切にすることができる。

【0307】なお、上述の実施の形態では、ロボット装置1の行う共同注意について、対象（物体）の動きから学習対象物として特定することについて説明した。しかし、これに限定されるものではない。例えば、音声により学習対象物を特定することもできる。この場合、例えば、ロボット装置1は、音声が発せられている方向に向き、対象物を学習対象物として特定する。例えば、音

声、例えば発生している方向及び大きさに対して注意量を設定して、ある条件を満たした際に、学習対象物として特定するようにする。

【0308】また、学習対象物に対する注意は、時間により減衰するものとするものとしてもよい。或いは、連想が安定すると減衰するものとしてもよい。これにより、新たな刺激（画像入力、音声入力）に対して注意を払い、学習を発火（開始）させることができる。

【0309】また、注意を払った時点でステップ上に大きな値を取り、ある条件により減衰するようにすることとしてもよい。例えば、ある条件を時間として、時間の経過により減衰するようにする。また一方で、同時に2つ以上の対象に対して、注意の量を設定することもできる。例えば、注意量の設定は、対象の動き、或いは音声に対して行う。例えば、一方の対象の動きに対して注意量を設定し、他方の対象については音声に対して注意量を設定する。

【0310】これにより、注意を払っている対象（特定領域）を調査（例えば、色、形等の特徴量を調査）しているときに、他の刺激（例えば、音声、画像）により他の対象に注意量を設定することができる。ここで、現在注意を払っている対象については、上述したように、ステップ上に大きな値とされるので、このような他の刺激により違う対象に注意量が設定されても、しばらくは先に選択した対象の調査を続けることができる。

【0311】そして、現在注意を払っている対象の“注意”が減衰してきた場合は、他の刺激のある対象、すなわち注意量が増加してきた対象に注意を移すことができる。

【0312】また、共同注意は、刺激として学習対象物の動きによるものの他に、人間の指により行うこともできる。すなわち、その指の指す方向の物体を学習対象物として特定するというものである。

【0313】このような共同注意とは、通常の人と人のインタラクションで想定される共同注意の例である。例えば、この場合には、セグメンテーションにより得た肌色の領域を特定領域として、注意を払う。図37を用いて説明する。

【0314】図37中（A）に示すように、ある環境において、円錐体141を手142により指し示している撮像画像が得られたとする。なお、以下の処理において対象物を画像処理により、例えば、計算速度等を考慮して撮像画像にローパスフィルタをかけてもよい。

【0315】そして、画像内における肌色部分を抜き取る。この場合、色特徴空間を使用して、肌色部分の特徴を得て、画像内における肌色部分を抜き取る。これにより、図37中（B）に示すように、手142の部分が抜き取られる。

【0316】そして、図37中（C）に示すように、その手142の部分の長手方向を特定する。これは、対象

物を指し示したときの手の形状が対象物に向かって略長方形形状となるからである。例えば、長手方向は、図中の線 143 に示すように特定される。

【0317】そして、図 37 中 (D) に示すように、原画像に求めた長手方向を合わせ込み、図 37 中 (E) に示すように、対象物を特定する。すなわち、指によって指し示されている円錐体 141 が特定される。例えば、指の先端近傍の画像をサンプルとして取り出し、色特徴空間において色を特定して、該当する色によって構成されている領域を特定する。これにより同一色とされている、例えば、黄色の円錐体 141 を特定することができる。

【0318】また、共同注意については、上述のような手法によるものに限定されるものではない。例えば、人間の視線の先のものに注意を払う、というような共同注意とすることもできる。

【0319】また、ロボット装置 1 が共同注意を行っているか否かを確認する手段を備えてもよい。すなわち、共同注意により学習対象を特定した場合には、所定の行動を出現させる。例えば、ロボット装置 1 は、対象が振られて教示がなされている場合に、学習対象を特定（追尾）したときには、頭部を振る等の行動を出現させて、特定した旨を使用者に知らせる。これにより、教示物は、自己が教示している物をロボット装置 1 が学習対象物として捕らえているかを確認することができる。

【0320】以上のようにロボット装置 1 は、人間とインタラクションを通じて、自身が行動を評価し、自身にとって適切な行動を獲得していくことができる。

【0321】また、ロボット装置 1 は、その行動を音声などの他のセンサ刺激と連想記憶することにより、音声のみでその行動を出せるように学習することができる。

【0322】次に、上述した連想記憶システムの具体例について、図 38 を参照しながら説明する。この図 38 に示す連想記憶システムの具体例においては、4 つの知覚チャンネル入力パターン（色、形、音声、本能）を記憶、連想するものを想定している。この図 38 において、色 (Color) 認識器 201、形 (Shape) 認識器 202、音声 (Speech) 認識器 203 の各チャンネルの入力に対しては、予めいくつかのパターンあるいはプロトタイプを用意し、各プロトタイプ毎に例えば 2 値の ID

（識別情報）を付しておき、各認識器 201～203 では入力パターンがこれらのいずれのプロトタイプに対応するかを認識して、その ID、すなわち、色プロトタイプ ID、形プロトタイプ ID、音声プロトタイプ ID をそれぞれ出力し、連想記憶部 210 の短期記憶部 211 に送るようにしている。ここで、音声 (Speech) 認識器 203 からの出力は、意味や文法に従ったタグ付けを行うセマンティクス・コンバータ (SC) 204 を介して音声プロトタイプ ID が短期記憶部 211 に送られ、同時に音素記号列 (Phoneme Sequence) も短期記憶部 21

1 に送られる。また、本能に関しては、本能情報部 (ISM: Internal States Model) 205 からは本能（例えば好奇心）の変化値（デルタ値）がアナログ量として出力され、連想記憶部 210 の短期記憶部 211 に送られる。

【0323】連想記憶部 (Associative Memory) 210 は、短期記憶部 (Short Term Memory) 211、長期記憶部 (Long Term Memory) 212 及び注意記憶部 (Attention Memory) 213 を有して構成されている。さらに、この連想記憶システムにおいては、短期記憶部 211 に関連して、リリースメカニズム (RM) 221 及び行動 (behavior) ネットワーク (BeNet) 222 が設けられている。RM (リリースメカニズム) 221 及び BeNet (行動ネットワーク) 222 は行動生成部とも称される。

【0324】この図 38 に示す連想記憶システムにおいて、色認識器 201 では、カラーセグメンテーション・モジュールによりセグメンテーションされた各オブジェクトは、色プロトタイプ ID を付加されて連想記憶部 210 に入力される。音声認識器 203 からは、ユーザの発話により単語のプロトタイプ ID が出力され、このとき、発話の音素記号列 (Phoneme Sequence) も連想記憶部 210 に送られる。これによって、記憶・連想の処理で、ロボットに発話させることが可能となる。入力された各チャンネルの情報は、連想記憶部 210 内の短期記憶部 (Short Term Memory) 211 に貯蔵され、ある一定の時間、例えば 100 オブジェクト分程度保存される。

【0325】連想記憶部 210 では、入力パターンに関して、過去に記憶したものであるかどうか連想 (recall) する。連想が不可能な場合は、入力パターンをそのままリリースメカニズム (RM) 221 及び行動ネットワーク (BeNet) 222 に送信する。連想可能な場合は、連想の方向を付加して RM 221 及び BeNet 222 に送信する。

【0326】BeNet 222 では、色認識器 201 のカラーセグメンテーション・モジュールからのフラグ (Shared Attention Flag) をチェックし、上述したようなユーザからの指差し等による共同注意の有無をラッチコマンドに変換して、連想記憶部 210 に送信する。連想記憶部 210 では、BeNet 222 からラッチコマンドを受信すると、フレームナンバによる検索を行い、マッチするオブジェクトを注意記憶部 (Attention Memory) 213 に格納する。この状態で、本能の変化値（デルタ値）が十分大きければ、注意記憶部 (Attention Memory) から 213 長期記憶部 (Long Term Memory) 212 への記憶 (memory) を行う。本能の変化値（デルタ値）は、例えば 0～100 のようなアナログ的な値をとることができ、本能のデルタ値を例えば 80 で記憶しておけば、連想により 80 という値を得ることが可能である。

【0327】次に、連想記憶の詳細について説明する。図39は、連想記憶に用いられる2層の階層型ニューラルネットワークの例を示している。この図39においては、第一層を入力層 (Input Layer) 231、第二層を競合層 (Competitive Layer) 232とする競合学習ネットワークの例を示しており、入力層231の第*i*ユニット (ニューロン) と、競合層232の第*j*ユニットとの間の結合重みを $W_{ji}$ としている。動作としては、記憶モードと連想 (あるいは想起) モードの2モード存在し、記憶モードでは入力パターンを競合的に記憶し、想起モードでは、ある部分的な入力パターンから、過去に記憶したパターンを想起する。入力側には、上記色、形、音声及び本能の入力 $x_1, x_2, \dots, x_m$ に対応して*m*個のニューロンが存在しており、例えば色プロトタイプID、形プロトタイプID、音声プロトタイプIDをそれぞれ20個ずつとし、本能の種類を6個とすると、入力ニューロン数は、 $20+20+20+6=66$ より、66個となる。競合ニューロンは、それぞれのニューロンが1つのシンボルを表し、競合ニューロンの数は、記憶できるシンボルあるいはパターンの数に等しい。上記の具体例では、各プロトタイプID及び本能の\*

$$y_j = \sum_{i=0}^{\text{numOfInput}} W_{ji} x_i$$

【0331】また、競合に勝ち抜くニューロンは、 $\max \{y_j\}$ により求める。

【0332】競合に勝ち抜いたニューロン (winner neuron) と入力ニューロンとの結合の更新は、Kohonen の更新規則により、

$$W_{ji}(\text{new}) = \frac{W_{ji}(\text{new})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{\text{numOfInput}} W_{ji}^2}}$$

【0334】この結合力がいわゆる学習の強さを表し、記憶力になる。

【0335】ここで、具体例としては、上記学習率 $\alpha=0.5$ を用いており、一度記憶させれば忘却することではなく、次回同じようなパターンを提示すれば、ほぼ間違いなく記憶したパターンを連想することができる。

【0336】なお、本来、逐次的に学習させていく過程で、提示回数の多いパターンに関しては記憶力が強くなり、あまり提示されないパターンに対しては記憶力の弱くなるような仕組みが連想記憶に対して求められ、本実施の形態に適用することも可能である。すなわち、学習率と連想記憶のチューニングにより対応でき、例えば、学習率を低く設定しておけば、それだけ記憶力が強くなるまでに提示回数を必要とする。また、提示回数に応じて学習率を低くさせていく、例えば最初の1回は学習率が高いが、提示回数が増えるほど学習率を低くする、といったこともできる。これにより、提示回数が少ないパ

\* 種類の全ての組み合わせパターンが、 $20 \times 20 \times 20 \times 6$ で48000となるが、例えば300程度を実装することが挙げられる。

【0328】次に、記憶モードについて説明する。入力層231と競合層232との結合重み $W_{ji}$ は、0から1までの間の値をとるものとする。初期結合重みはランダムに決定する。記憶は、先ず競合層で勝ち抜いたニューロンを選択し、そのニューロンと入力ニューロンとの結合力 (結合重み $W_{ji}$ ) を強めることで行う。入力パターンベクトル $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ については、例えばニューロン $x_1$ に対応するプロトタイプID (例えば第1番目の色プロトタイプID) が認識されたときに、当該ニューロン $x_1$ を発火させ、順次、形、音声も同様に認識されたニューロンを発火させることとする。発火したニューロンは+1、発火しないニューロンは-1の値をとる。

【0329】出力 (競合) ニューロン $y_j$ の値は、入力側のニューロン $x_i$ について、次の(29)式により求める。

【0330】

【数29】

... (29)

※  $\Delta W_{ji} = \alpha (x_i - W_{ji})$   $\alpha$ : 学習率  
 $W_{ji}(\text{new}) = \Delta W_{ji} + W_{ji}(\text{old})$   
 により求める。これをL2Normで正規化して、次の(30)式とする。

【0333】

【数30】

... (30)

ターンに関して記憶力の更新があまり行われず、その結果、記憶があいまいになり、記憶したのとは違うパターンを連想したり、また、連想閾値に達せず連想できなかったりすることが生じる。ただし、その分、新しいシンボルあるいはパターンを獲得できる可能性があるため、容量が限られていても柔軟な連想記憶システムを実現できることになる。

【0337】次に、想起 (連想) モードについて説明する。いま、ある入力パターンベクトル $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ がこの連想記憶システムに提示されたとする。この入力ベクトルは、プロトタイプIDでも、プロトタイプIDに対する尤度や確率でもよい。出力 (競合) ニューロン $y_j$ の値は、入力側のニューロン $x_i$ について、上記(29)式により計算されるが、各チャンネルの尤度に応じて、競合ニューロンの発火値も一種の尤度を表す。ここで重要なのは、複数チャンネルからの尤度入力に対して、それらをコネクションして全体的な尤度

を求めることができるという点である。本実施の形態の具体例では、連想するものは唯一で、競合に勝ち抜くニューロンを、

$$\max \{y_j\}$$

により求める。求めたニューロンの番号がシンボルの番号に対応し、逆行列演算により入力パターンを想起する。すなわち、

$$Y = W \cdot X$$

$$X = W^{-1} \cdot Y = W^T \cdot Y$$

である。

【0338】次に、入力パターンの提示回数と結合係数について説明する。本実施の形態の具体例では、学習率を高く設定しておき、提示されたパターンを一度で記憶するようにチューニングしている。この場合の学習回数と結合係数との関係を調べる。ある入力パターンと競合層のシンボルニューロンとの結合係数は、上記(29)式を調べることで等価である。

【0339】ここで、図40は、ある入力パターンにより発火したニューロンとシンボルを獲得した競合層のニューロンとの結合の関係(active input)及び発火していない入力ニューロンと結合層のニューロンとの結合の関係(non-active input)について、横軸を提示回数(epoch)、縦軸をニューロン発火値(activation)として表している。この図40より、active inputの場合には、提示回数が増えるほど入力パターンとシンボルニューロンとの結合が強まっているのが分かる。提示2回目で結合が急激に強まっているのは、1回目の提示で大

きく更新されたからであり、学習率を低く設定すれば緩やかなカーブになる。これとは対照的に、non-active inputの場合の入力パターンで発火していないニューロンとの結合は弱まっている。

【0340】なお、提示回数のみでなく、提示頻度も考慮した連想記憶システムを構築することも挙げられる。これは、記憶容量が固定(有限)であることから、よく提示されるパターンを優先的に記憶することが好ましいからである。このことと関連して、忘却関数も導入することが好ましい。例えば、認識器のノイズ等の非線形要素により、間違えて記憶してしまったパターンを、一度の提示のみで保存する必要はなく、提示回数が少なく、しかも提示頻度も低いパターンに関しては、忘却するようにし、新しく提示された重要なパターンを記憶する方が好ましい。

【0341】ここで、本実施の形態の具体例においては、学習率を固定し、新しい入力パターンか否かの識別を、ある閾値を用いて行っているが、学習率を変化させることも可能であり、また、閾値の決め方に関しては、定式化も可能である。

【0342】次に、多数の入力パターンに対する応答について説明する。様々なパターンを入力として提示したときの連想記憶システムの動作についてテストを行った結果を次の表1に示す。

【0343】

【表1】



色	形	音声	本能	備考	評価
1	1	1	1	memory	ok
2	2	2	1	memory	ok
2	2	②	①	recall	ok
②	②	2	①	recall	ok
1	3	①	①	recall 色しか知らないけど	ok
1	3	3	1	memory	ok
1	3	③	①	recall	ok
4	4	1	1	memory	ok
4	4	①	①	recall	ok
①	①	1	①	recall 最初に記憶した物	ok
4	4	1	1	memory	ok
④	④	1	①	recall 記憶が強まった	ok
3①	3	③	1	recall 未知パターンを入力	ok
5	5	5	1	memory	ok
6	6	6	1	memory	ok
2	2	7	1	memory	ok
②	②	2	①	recall	ok
2	2	⑦	①	recall	ok
7	7	0	2	memory	ok

【0344】この表1において、色 (Color)、形 (Shape)、音声 (Speech) 及び本能 (instinct) についての各プロトタイプIDを1, 2, ...等の数字で表し、連想されたプロトタイプIDを○つきの数字、①, ②, ...等で表している。

【0345】この表2から明らかなように、最初に入力パターン [1, 1, 1, 1] が記憶 (memory) された後に、5番目の提示で、色1, 形3のパターンが入力されると、色1のみに基づいて [1, 3, ①, ①] が連想 (recall) されるが、次の6番目の提示で [1, 3, 3, 1] のパターンが記憶された後の7番目の提示で \*

\*は、色1, 形3のパターンの入力に対して [1, 3, ③, ①] が連想 (recall) されている。

【0346】ここで、記憶容量を20シンボルとするとき、次の表2に示すような20の入力パターンの記憶は正常に行われるが、次の表3に示すような20より多くの入力パターン (合計400パターン) の提示に対しては、あとから学習したものを記憶として保持し、[1, 1, 1, 1] 等のように初期に記憶したシンボルは上書きされることになる。

【0347】

【表2】

色	形	音声	本能	評価
1	1	1	1	ok
2	2	2	2	ok
3	3	3	3	ok
...	...	...	...	ok
19	19	19	19	ok
20	20	20	20	ok

【0348】

【表3】

色	形	音声	本能
1	1	1	1
1	2	2	1
1	3	3	1
...	...	...	...
1	20	20	1
2	1	1	1
...	...	...	...
2	20	20	1
...	...	...	...
20	20	20	1

【0349】表3の場合に獲得（保持）できるシンボルは、最後に学習したものから20シンボル前までのみである。

【0350】ところで、新しいシンボルであるか否かの判断条件として、「2つ以上のニューロンの発火値の異なる入力パターンが提示されたとき」を採用すると、例えば、色、形のいずれかのみが異なる複数物体に対して同じ名前を付けることはできないが、色、形共に異なる場合には、同じ名前を付けることが可能である。すなわち、[1, 1, 1, 1]と[2, 1, 1, 1]とを同時に記憶することはできないが、[1, 1, 1, 1]と[2, 2, 1, 1]とは記憶可能である。この場合、次の表4に示すような入力パターンは全て記憶可能である。

【0351】

【表4】

色	形	音声	本能
1	1	1	1
2	2	1	1
3	3	1	1
...	...	1	1
20	20	1	1

【0352】以上説明したような連想記憶システムにおいては、記憶容量が限られているため、効率よく利用していく必要がある。そのためには、よく提示されるパターンを優先的に記憶する、あるいは、頻度の高いパターンを優先的に記憶するようにすることが好ましい。

【0353】また、記憶容量と関連して、記憶する必要のないパターンは忘却し、新たな重要なパターンが入力

されたときに記憶可能とすることが好ましい。このために、次のような結合係数忘却関数  $f$ 、すなわち、

$$W_{new} = f(W_{old})$$

を用いることが挙げられる。なお、 $W_{new}$  は新しい結合係数、 $W_{old}$  は古い結合係数を示す。最も簡単な忘却関数は、パターンが提示される毎に、競合層で敗北者ニューロンとの結合係数を弱める方法である。例えば、新しい結合係数  $W_{new}$  は、古い結合係数  $W_{old}$  と、忘却結合係数  $W_{forget}$  を用いて

$$W_{new} = f(W_{old}) = W_{old} - W_{forget}$$

とすることが挙げられる。これにより、提示されないパターンに対する結合は弱まり、重要でない頻度の低いパターンを忘却することができる。ここで、ヒューマノイド・ロボットの場合には、人間の脳生理学の知見に基づいた忘却関数  $f$  を設定するのが自然であり、好ましい。

【0354】また、上述した実施の形態の具体例では、単語（名詞）の記憶について採り上げたが、意味記憶やエピソード記憶、動詞の獲得についても考慮することが好ましい。例えば、「蹴る」という行動を獲得して「蹴る」という言葉を獲得できるようにする等である。

【0355】また、新しい入力パターンの判断は、競合層の勝者ニューロンの発火値に閾値を設けて行っているが、入力チャンネルの増加に伴いチューニングし直す必要があり、定量的に設定できる、例えばプログラム中で自動的に計算するようにすることが好ましい。

【0356】さらに、入力チャンネル数が増加してマルチモーダルになった場合に、各チャンネルの正規化についても考慮することが好ましい。

【0357】次に、上記図38の本能情報部（ISM：Internal States Model）205に関連して、ロボット装置の行動決定方法の実現例について説明する。すなわち、外的原因因子及び内的原因因子に基づいて、実行する行動を決定する動物行動学のアプローチを適用したロボット装置における動作生成を調べるための動作テストの具体例を説明する。

【0358】本実施の形態の具体例においては、ロボットの内部状態（Internal States）及び本能について、8つのゲージ（gauge）と8つの本能（instinct）とを用いている。すなわち、ロボットの内部状態を表す8つのゲージとして、Nourishment（養分）、Movement（大便）、Moisture（水分）、Urine（小便）、Tiredness（疲労）、Affection（愛情）、Curiosity（興味）及びSleepy（眠気）を用い、これらのそれぞれに対して、Hunger（摂食欲）、Defecation（排便欲）、Thirst（摂水欲）、Urination（排尿欲）、Exercise（運動欲）、Affection（愛情欲）、Curiosity（好奇心）及びSleepy（睡眠欲）の8つの本能（instinct）を対応させている。

【0359】内部状態は、例えばバイオリズム（Biorhy

thm)より通知される時間経過により変化し、また、センサ入力と行動の成功/失敗によっても変化する。変化幅は0~100、変化の度合いは、例えばpersonality\_gauge.cfg及びpersonality\_perception.cfgにある係数によって決定する。

【0360】また、Frustration（欲求不満）は、欲求が最大値MAXに達しても行動を出せないときに生成され、行動によってゲージ（gauge）が期待通りに変化した場合にクリアされるように設定している。

【0361】ここで、今回の動作テストにおいては、動物行動学的なアプローチによる行動選択・決定システムとして、複数の行動が階層構造（ツリー構造）にて構築された図41に示すようなコンテンツツリー（contents tree）を用いている。このコンテンツツリーでは、上位から順に、システム（system）、サブシステム（subsystem）、モード（mode）、モジュール（module）とされ、上位層の行動が願望のような抽象的な行動とされ、下位層の行動がそのような願望を実現するための具体的な行動とされている。図41のツリーでは、生態学モデル（Ethological Model）として最低限の行動をし、音声認識を使用したツリーへの切り替え及び動作のテストと、学習についてのテストが可能なものを採用している。また、今回の動作テストでは、図41のツリーに対応した本能（instinct）、すなわち、Hunger（摂食欲）、Affection（愛情欲）、Curiosity（好奇心）、Sleepy（睡眠欲）を使用しており、これらの本能（instinct）に対応したゲージ（gauge）、すなわち、Nourishment（養分）、Affection（愛情）、Curiosity（興味）、Sleepy（眠気）のみを使用している。なお、実際の動作テストでは、モジュール（module）を実行したときに具体的に何を成功とし何を失敗とするかをコード上に記述しており、また、ゲージ（gauge）と本能（instinct）の対応については、線形対応としているが、これに限定されるものではない。

【0362】本実施の形態において、感情（emotion）については複数軸による表現を用いており、具体的には、覚醒度（Activation）と快度（Pleasantness）とを用い、さらにもう1軸の確信度（Certainly）を用いて、3軸による3次元空間に感情を表現している。覚醒度（Activation）とは、主に生物に存在するバイオリズムによって決定する起きているか寝ているかの度合いであり、快度（Pleasantness）とは、本能がどれだけ満たされたか又は満たされていないかを示す度合いであり、確信度（Certainly）とは、現在注目しているものがどれだけ自分自身で確信できるものかを示す度合いである。快度（Pleasantness）を求めるのに必要な本能として、上述した8 gauge、8 instinct（ただし、動作テストでは上述した4ゲージ、4本能まで）を使用している。覚醒度（Activation）、快度（Pleasantness）、確信度（Certainly）については、各々100~100の範

囲内の値をとるものとし、快度（Pleasantness）と確信度（Certainly）については常に0を保持するように時間変動する。また、覚醒度（Activation）も、本能（instinct）要因の場合は0を保持するようにし、バイオリズム（Biorhythm）に関しては値をそのまま使用するようにしている。

【0363】本能（instinct）の満足の度合いは快度（Pleasantness）に反映させる。確信度（Certainly）は、注意（Attention）しているものがある場合、ビジョンオブジェクト（Vision Object）によるそのものの確信度をそのまま使用する。覚醒度（Activation）は、基本的にバイオリズム（Biorhythm）の値によるが、睡眠（Sleep）に変動があった場合にはその結果を用いて変化させている。

【0364】今回の動作テストにおける制限事項として、バイオリズム（Biorhythm）は覚醒度（Activation）のみに反映させ、この場合の確信度（Certainly）を0~100の範囲で変化させているが、これに限定されないことは勿論である。

【0365】次に、動作テストの第1の具体例として、睡眠（Sleep）と食べる（Eat）についてのテスト結果を図42~図44を参照しながら説明する。この第1の動作テストでは、Hunger（摂食欲）とSleepy（睡眠欲）以外の本能（instinct）を固定とし、図41のコンテンツツリーのモジュール（module）による探す（Search）／食べる（eat）と、眠る（Sleeping）の移り変わりを調べる。図42は、本能（instinct）の内のHunger（摂食欲）及びSleepy（睡眠欲）の時間変化を示し、図43は、感情（emotion）として覚醒度（Activation）、快度（Pleasantness）、確信度（Certainly）の時間変化を示し、図44は、モチベーション（Motivation）としての睡眠（Sleep）と食べる（Eat）の時間変化を示している。

【0366】これらの図42~図44から明らかなように、PAT（なでる）によるSleepツリーへの切り替えが可能であり、図示しないがHIT（叩く）によるSleepツリーからの切り替えも可能である。Hunger（摂食欲）が高まることによるEatツリーへの切り替え、Hungerが満たされることによるSleepへの切り替えも可能である。叩かれたときに覚醒度（Activation）に変化がないのは、Sleepが最小（MIN）、すなわち100であるため、本能（instinct）が変更されないためである。Hungerが最大（MAX）、すなわち100になった後、欲求不満（Frustration）（図示せず）の値が増加するため、快度（Pleasantness）の増加が少し緩やかになる。

【0367】次に、動作テストの第2の具体例として、上記4つ全てのゲージ（gauge）、すなわち、Nourishment（養分）、Affection（愛情）、Curiosity（興味）、Sleepy（眠気）、これらに対応する4つの本能（instinct）を用い、図41のコンテンツツリーを用い

た場合のふるまい (behavior) の移り変わりと、本能 (instinct) 等を値の変化を図 45～図 47 に示す。図 45 は、本能 (instinct) の時間変化を示し、図 46 は、感情 (emotion) の時間変化を示し、図 47 は、リリースメカニズム (Release Mechanism) の時間変化を示している。

【0368】これらの図 45～図 47 において、PAT (なでる) による Sleep への切り替え、Hunger (摂食欲) による Eat への切り替え、Curiosity (好奇心) による情報獲得 (Information Acquisition) の切り替えがそれぞれ有効に動作している。また、本能 (instinct) の Curiosity (好奇心) が最大 (100) になっているのに動作が発現していない状態では、快度 (Pleasantness) が不快方向 (欲求不満) に振れているのが分かる。さらに、PAT (なでる) により Sleep が増加すると、快度 (Pleasantness) が快方向に変化し、それに伴って安らぎを求める (Comfort Seeking) が変化している様子が分かる。

【0369】以上の動作テストにより、図 41 のコンテンツツツリーに基づく動物行動学的なアプローチによる行動選択・決定システムが有効に動作していることが確認できた。

【0370】なお、本発明は、上述した実施の形態のみに限定されるものではなく、例えば、連想記憶システムの具体的な構成例や、動作テストのためのコンテンツツツリー等は図示の例に限定されず、種々の構成が可能である。この他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成が可能であることは勿論である。

#### 【0371】

【発明の効果】本発明に係るロボット装置は、接触検出手段による接触検出の時間的前後に入力された情報を入力情報検出手段により検出し、接触検出手段による接触検出に応じて出現した行動と、入力情報検出手段が検出した入力情報とを結びつけて記憶手段に記憶し、行動制御手段により、新たに得られた入力情報に基づいて、記憶手段における情報から行動を連想して、その行動をすることにより、入力情報とその際に出現した行動とを結びつけて記憶して、再び同一の入力情報が入力された際には、対応される行動を再び出現させることができる。

【0372】また、本発明に係るロボット装置の行動制御方法は、接触を検出する接触検出工程と、接触検出工程による接触検出の時間的前後に入力された情報を検出する入力情報検出工程と、接触検出工程による接触検出に応じて出現した行動と、入力情報検出工程にて検出した入力情報とを結びつけて記憶手段に記憶する記憶工程と、新たに得られた入力情報に基づいて、記憶手段における情報から行動を連想して、その行動をする行動制御工程とを有する。

【0373】この発明が適用されたロボット装置は、入力情報とその際に出現した行動とを結びつけて記憶し

て、再び同一の入力情報が入力された際には、対応される行動を再び出現させることができる。

【0374】また、本発明に係るロボット装置は、入力情報検出手段が検出した入力情報に応じて行動した結果を示す行動結果情報と、当該入力情報とを結びつけて記憶手段に記憶し、行動制御手段により、新たに入力された入力情報に基づいて、記憶手段における行動結果情報を特定し、当該行動結果情報に基づいて行動をすることにより、入力情報とその入力情報に応じて行動した結果の行動結果情報とを結びつけて記憶して、再び同一の入力情報が入力された際には、対向される行動結果情報に基づき過去の行動を想起して、適切な行動を出現させることができる。

【0375】また、本発明に係るロボット装置の行動制御方法は、入力情報検出手段が検出した入力情報に応じて行動した結果を示す行動結果情報と、当該入力情報とを結びつけて記録手段に記憶する記憶工程と、新たに入力された入力情報に基づいて、上記記憶手段における行動結果情報を特定し、当該行動結果情報に基づいて行動をする行動制御工程とを有する。

【0376】この発明が適用されたロボット装置は、入力情報とその入力情報に応じて行動した結果の行動結果情報とを結びつけて記憶して、再び同一の入力情報が入力された際には、対向される行動結果情報に基づき過去の行動を想起して、適切な行動を出現させることができる。

【0377】また、本発明に係るロボット装置は、入力情報検出手段が検出した入力情報の特徴量を特徴量検出手段により検出し、特徴量に基づいて、入力情報を情報分類手段により分類し、行動制御手段により、入力情報の分類に基づいて行動をして、行動制御手段により制御されて行動した結果を示す行動結果情報に基づいて、当該行動を引き起こした入力情報の分類を分類変更手段により変更することにより、入力情報の分類に応じて行動をして、その行動した結果に基づいてその分類を変更することができる。

【0378】また、本発明に係るロボット装置の行動制御方法は、入力情報検出手段が検出した入力情報の特徴量を検出する特徴量検出工程と、特徴量検出工程にて検出した特徴量に基づいて、入力情報を分類する情報分類工程と、情報分類工程における入力情報の分類に基づいて行動をする行動制御工程と、行動制御工程にて制御されて行動した結果を示す行動結果情報に基づいて、当該行動を引き起こした入力情報の分類を変更する分類変更工程とを有する。

【0379】この発明が適用されたロボット装置は、入力情報の分類に応じて行動をして、その行動した結果に基づいてその分類を変更することができる。

【0380】また、本発明に係るロボット装置は、学習対象物を特定する学習対象物特定手段が特定した学習対

10

20

30

40

50

象物の情報を記憶手段に記憶し、行動制御手段により、新たな検出した物と記憶手段に記憶した学習対象物の情報とに基づいて行動をすることにより、学習対象物を記憶して、再び同一の対象物が入力された際には、所定の行動をすることができる。

【0381】また、本発明に係るロボット装置の行動制御方法は、学習対象物を特定する学習対象物特定工程と、学習対象物特定工程にて特定した学習対象物の情報を記憶手段に記憶する記憶工程と、新たな検出した物と記憶手段に記憶した学習対象物の情報とに基づいて、行動をする行動制御工程とを有する。

【0382】この発明が適用されたロボット装置は、学習対象物を記憶して、再び同一の対象物が入力された際には、所定の行動をすることができる。

【0383】また、本発明に係るロボット装置は、動作部材と、動作部材を動作させるための関節部と、動作部材を介して外力が作用している関節部の状態を検出する検出手段と、検出手段が検出した関節部の状態と外力とを対応させて学習する学習手段とを備えることにより、動作部材を介して外力が作用している関節部の状態を検出手段により検出し、検出手段が検出した関節部の状態と外力とを対応させて学習手段により学習することができる。すなわち、ロボット装置は、動作部材に作用する外力に応じて変化する関節部の状態に対応させて当該外力を学習することができる。

【0384】また、本発明に係る外力検出装置は、動作部材を動作させるための関節部の状態を検出する検出手段と、検出手段が検出した関節部の状態に基づいて動作部材に作用する外力を検出する外力検出手段とを備えることにより、動作部材を動作させるための関節部の状態を検出手段により検出し、検出手段が検出した関節部の状態に基づいて動作部材に作用する外力を検出することができる。すなわち、外力検出装置は、動作部材に作用する外力を、当該動作部材を動作させる関節部の状態に基づいて検出することができる。

【0385】また、本発明に係る外力検出方法は、動作部材を動作させるための関節部の状態を検出し、検出した関節部の状態に基づいて動作部材に作用する外力を検出することにより、動作部材に作用する外力を、当該動作部材を動作させる関節部の状態に基づいて検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】入力信号の特徴量を検出するための特徴量空間を示す図である。

【図2】画像及び音についての認識クラス等を備えた学習システムを示すブロック図である。

【図3】新たな認識クラスの生成についての説明に使用した図である。

【図4】先行文献（文献4、岩橋ら）を説明するために使用した図である。

【図5】画像特徴空間と音特徴空間との関係を説明するために使用した図である。

【図6】画像特徴空間、音特徴空間、及び第3の特徴空間との関係を説明するために使用した図である。

【図7】本発明の実施の形態であるロボット装置の外観構成を示す斜視図である。

【図8】上述のロボット装置の回路構成を示すブロック図である。

【図9】上述のロボット装置のソフトウェア構成を示すブロック図である。

【図10】上述のロボット装置のソフトウェア構成におけるミドル・ウェア・レイヤの構成を示すブロック図である。

【図11】上述のロボット装置のソフトウェア構成におけるアプリケーション・レイヤの構成を示すブロック図である。

【図12】上述のアプリケーション・レイヤの行動モデルライブラリの構成を示すブロック図である。

【図13】ロボット装置の行動決定のための情報となる有限確率オートマトンを説明するために使用した図である。

【図14】有限確率オートマトンの各ノードに用意された状態遷移表を示す図である。

【図15】上述のロボット装置における本発明に係る部分の構成を示すブロック図である。

【図16】ロボット装置への動作の教示を説明するために使用した図である。

【図17】ロボット装置の動作を教示する識別部を示すブロック図である。

【図18】動作の学習をする識別器を示すブロック図である。

【図19】動作の学習に使用するパルス幅を示す図であって、立ち姿勢におけるパルス幅の特性図である。

【図20】動作の学習に使用するパルス幅を示す図であって、立ち姿勢から背中を前方向に押したときのパルス幅を示す特性図である。

【図21】動作の学習に使用するパルス幅を示す図であって、立ち姿勢から背中を後ろ方向に押したときのパルス幅を示す特性図である。

【図22】動作の学習に使用するパルス幅を示す図であって、立ち姿勢において、頭を上方向に押したときのパルス幅を示す特性図である。

【図23】動作の学習に使用するパルス幅を示す図であって、立ち姿勢において、頭を下方向に押したときのパルス幅を示す特性図である。

【図24】動作の学習に使用するパルス幅を示す図であって、座り姿勢において、頭を右上方向に押したときのパルス幅を示す特性図である。

【図25】動作の学習に使用するパルス幅を示す図であって、座り姿勢において、頭を左上方向に押したときの

パルス幅を示す特性図である。

【図 26】ロボット装置の快及び不快判定部を示すブロック図である。

【図 27】ニューラルネットワークを説明するために使用した図である。

【図 28】本発明の実施の形態であって、ロボット装置が外力を学習するために備える構成を示すブロック図である。

【図 29】3層バックプロパゲーションによるニューラルネットワークを示す図である。

【図 30】3層バックプロパゲーションによるニューラルネットワークにおける各層のニューロンの構成を示す図である。

【図 31】シグモイド関数を示す特性図である。

【図 32】学習回数と平均 2 乗誤差との関係を示す特性図である。

【図 33】ロボット装置の音声認識部を具体的構成を示すブロック図である。

【図 34】ロボット装置の連想想起記憶部及び行動生成部を示すブロック図である。

【図 35】具体的な処理を説明するために使用した連想想起記憶部を示すブロック図である。

【図 36】ロボット装置のセンサ処理部の具体的構成を示すブロック図である。

【図 37】指により学習対象物を特定する共同学習を説明するために使用した図である。

【図 38】連想記憶システムの具体例の概略構成を示すブロック図である。

【図 39】連想記憶システムに用いられる 2 層の階層型の競合学習ニューラルネットワークの例を示す図である。

\*

\* 【図 40】ある入力パターンにより発火した入力ニューロン及び発火していない入力ニューロンと、競合層のニューロンとの結合について、提示回数に伴う変化の例を示す図である。

【図 41】ロボット装置の行動決定動作のテストを行うために使用した階層構造の行動決定システムのコンテンツツリーを示す図である。

【図 42】第 1 の動作テストにおける本能 (instinct) の内の Hunger (摂食欲) 及び Sleepy (睡眠欲) の時間変化を示す図である。

【図 43】第 1 の動作テストにおける感情 (emotion) としての覚醒度 (Activation)、快度 (Pleasantness)、確信度 (Certainly) の時間変化を示す図である。

【図 44】第 1 の動作テストにおけるモチベーション (Motivation) としての睡眠 (Sleep) と食べる (Eat) の時間変化を示す図である。

【図 45】第 2 の動作テストにおける本能 (instinct) の時間変化を示す図である。

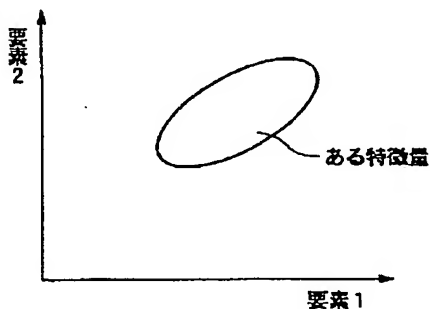
【図 46】第 2 の動作テストにおける感情 (emotion) の時間変化を示す図である。

【図 47】第 2 の動作テストにおけるリリースメカニズム (Release Mechanism) の時間変化を示す図である。

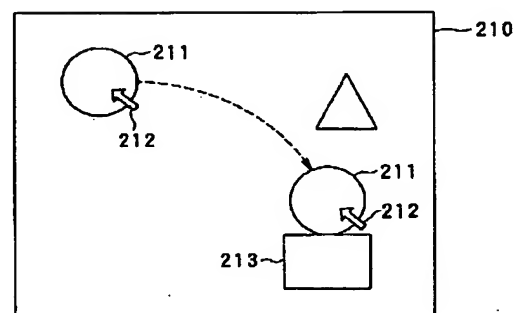
【符号の説明】

1 ロボット装置、101 音声認識部、102 センサ処理部、103 本能情動部、104 連想想起記憶部、105 行動生成部、111 識別部、122 特徴量抽出部、123 HMM部、131 画像信号入力部、132 セグメンテーション処理部、133 学習対象物検出部、151 動作部材、152 関節部、153 検出手段、160 学習手段

【図 1】

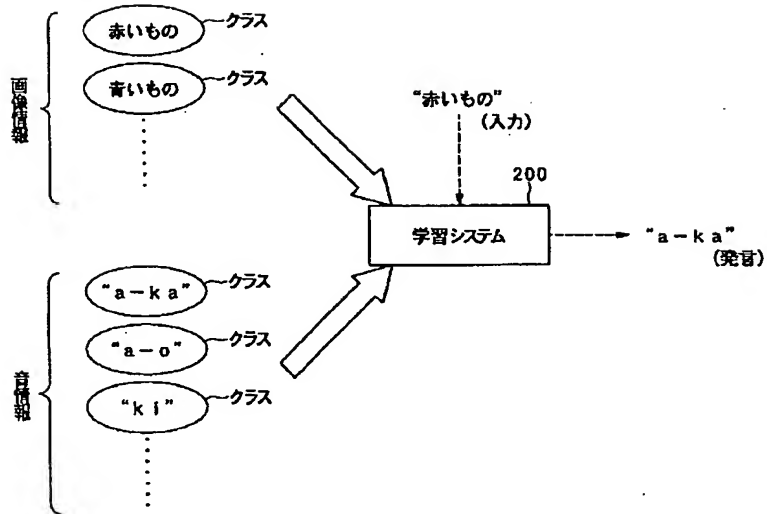


【図 4】

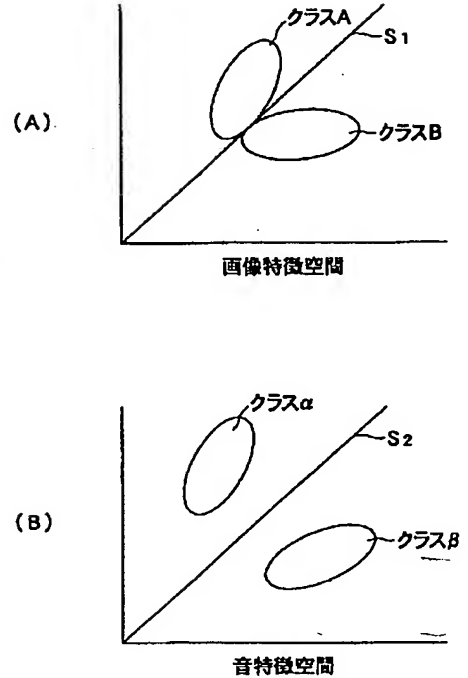




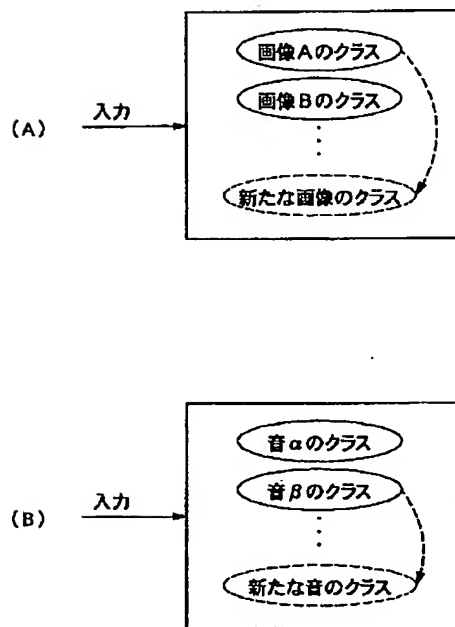
【図2】



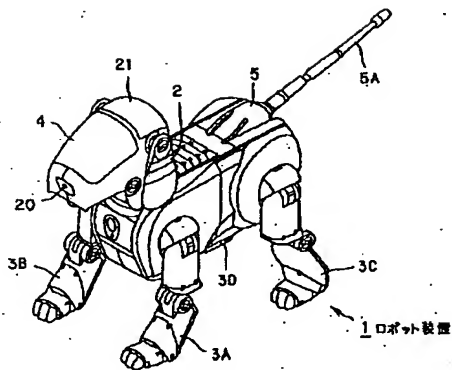
【図5】



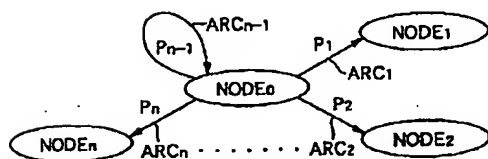
【図3】



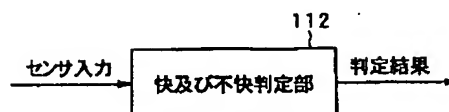
【図7】



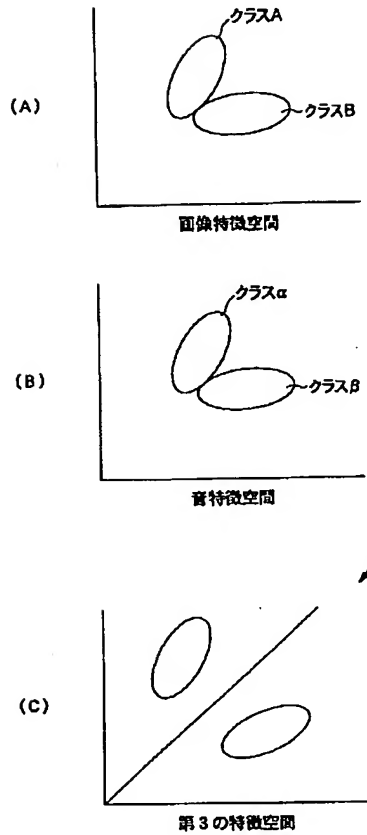
【図13】



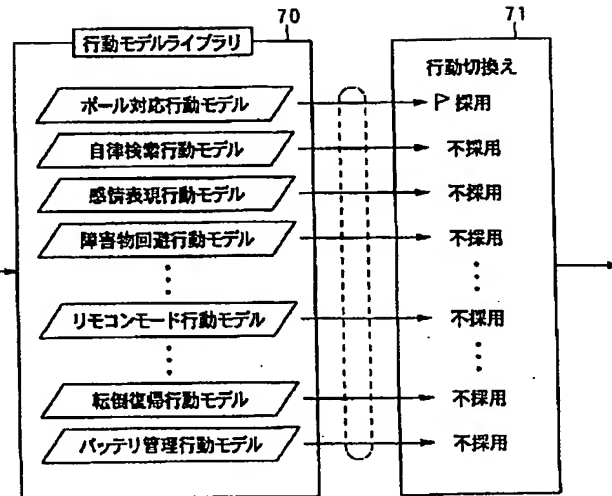
【図26】



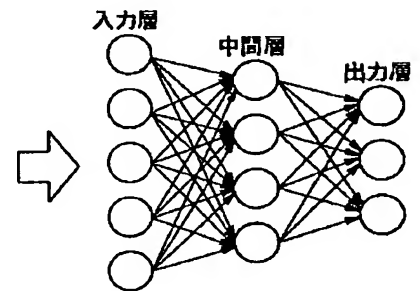
【図6】



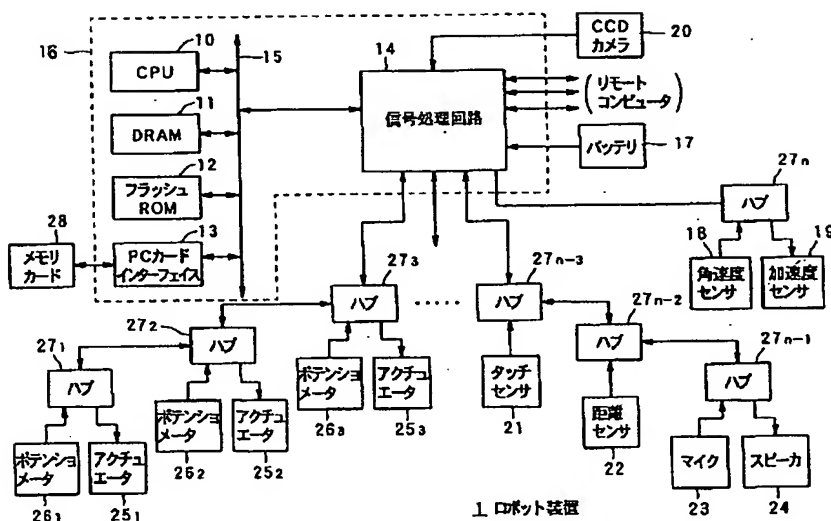
【図12】



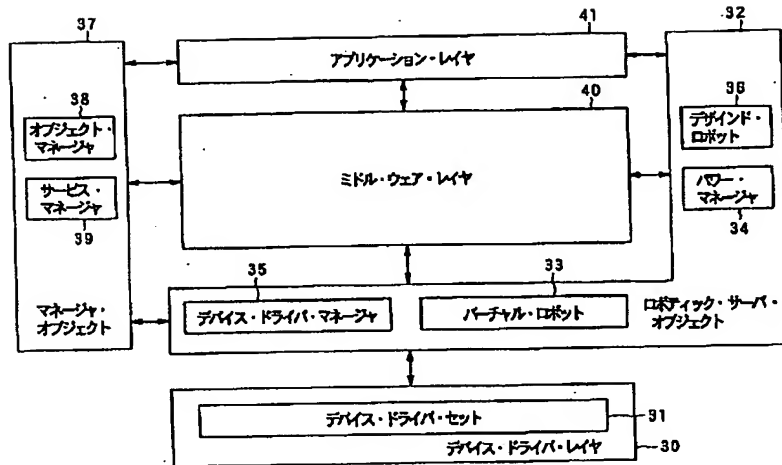
【図27】



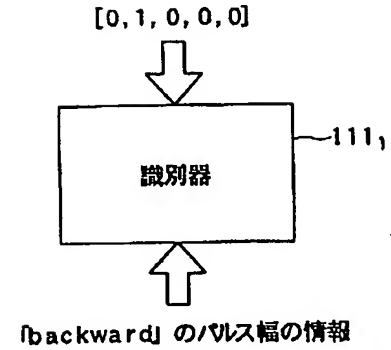
【図8】



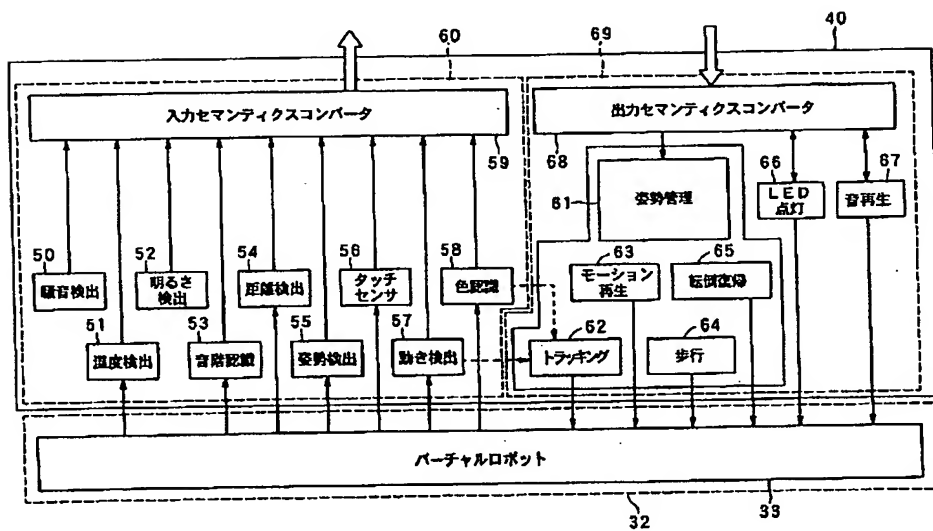
【図9】



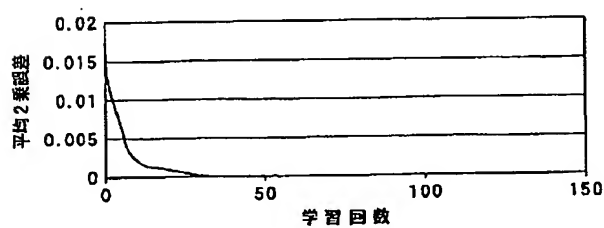
【図18】



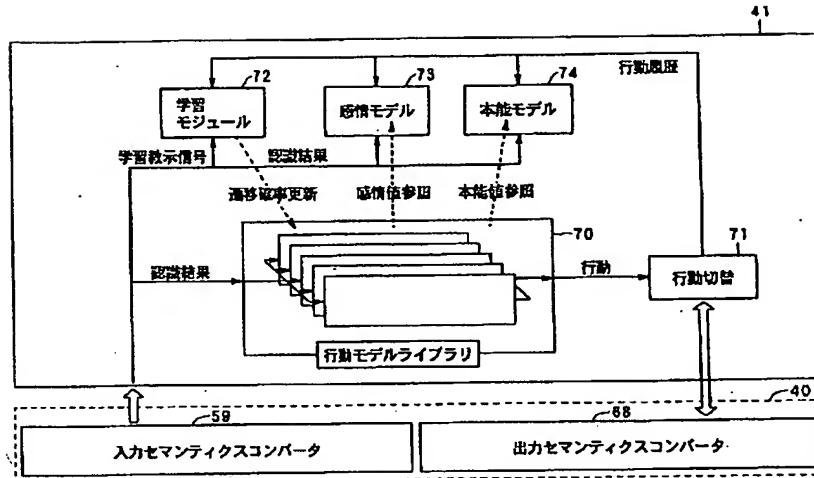
【図10】



【図32】



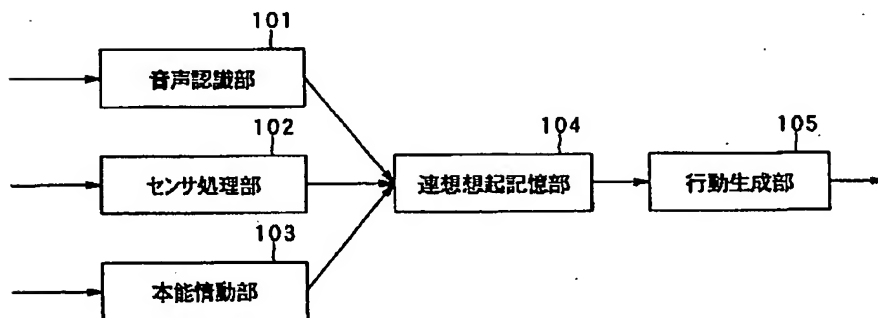
【図11】



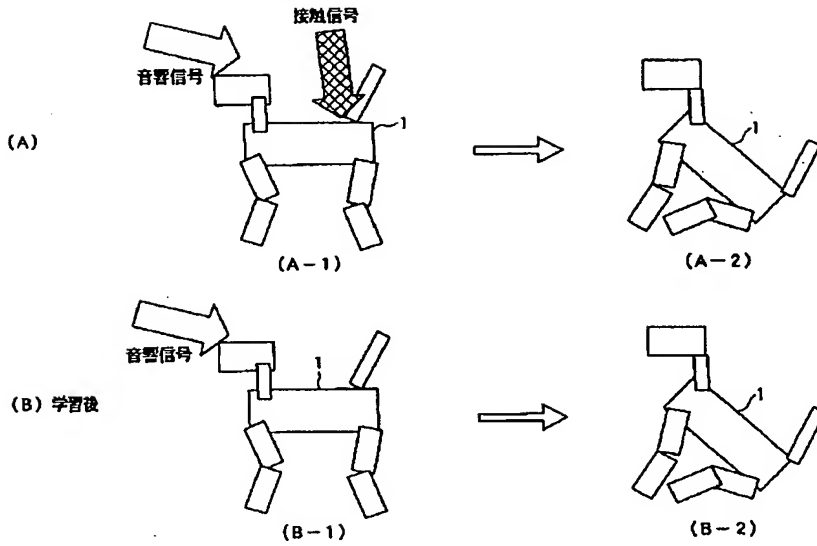
【図14】

	入力イベント名	データ名	データの範囲	他のノードへの遷移確率 DI				n
				A	B	C	D	
node 100				node 120	node 120	node 1000		node 600
遷移先ノード				ACTION 1	ACTION 2	MOVE BACK		ACTION 4
出力行動								
1	BALL	SIZE	0.1000	30%				
2	PAT				40%			
3	HIT				20%			
4	MOTION					50%		
5	OBSTACLE	DISTANCE	0.100			100%		
6		JOY	50.100					
7		SURPRISE	50.100					
8		SADNESS	50.100					

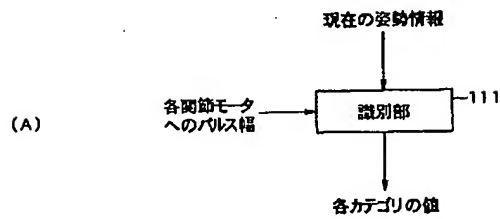
【図15】



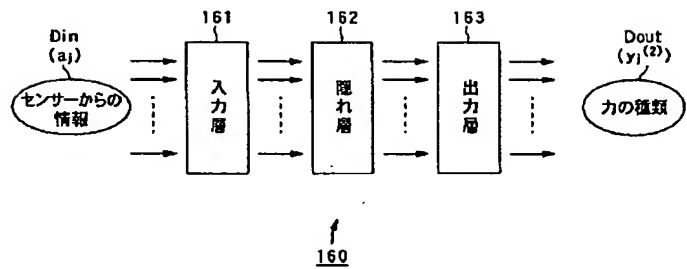
【図16】



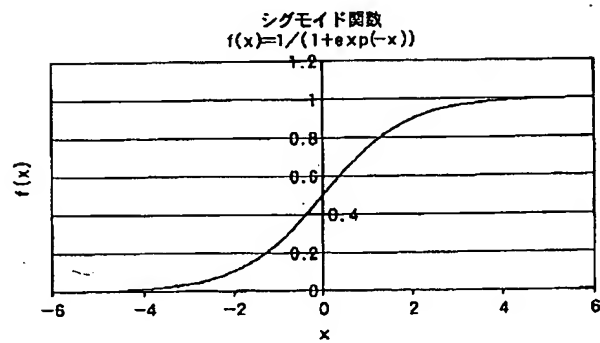
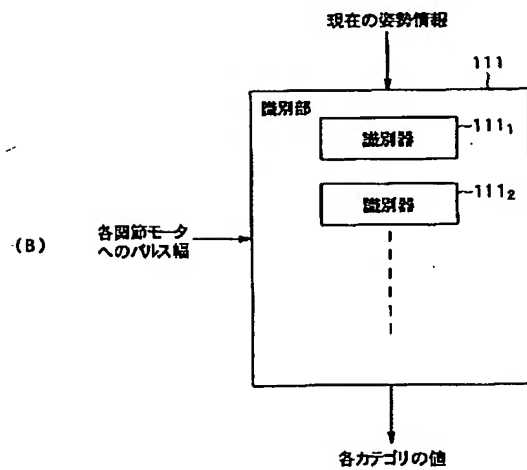
【図17】



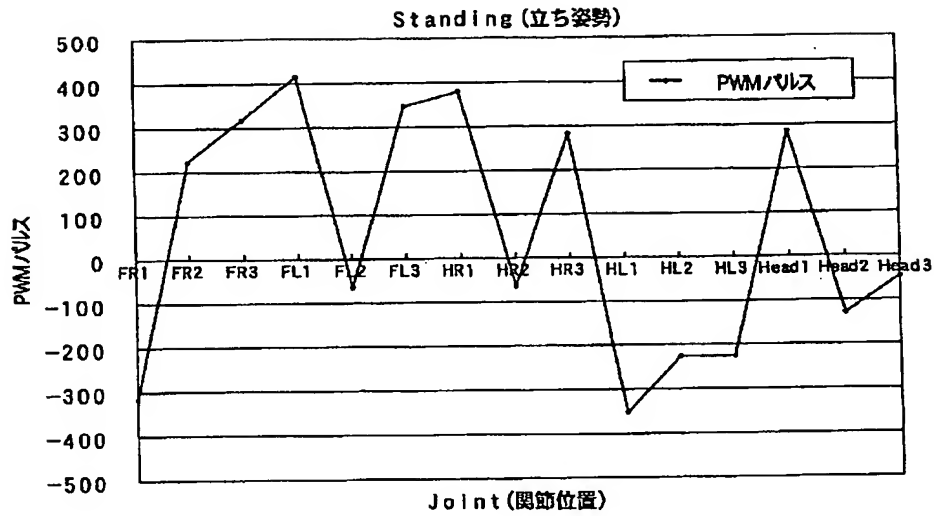
【図29】



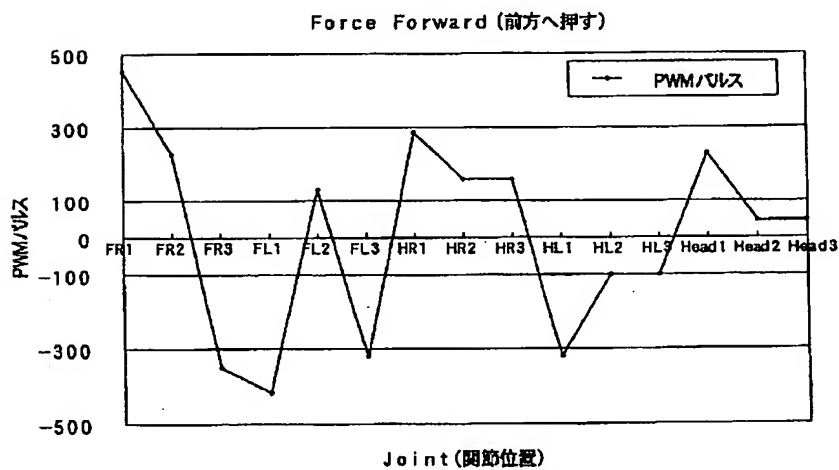
【図31】



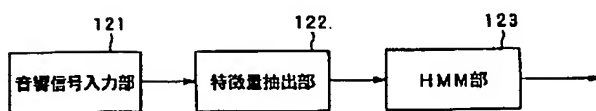
【図19】



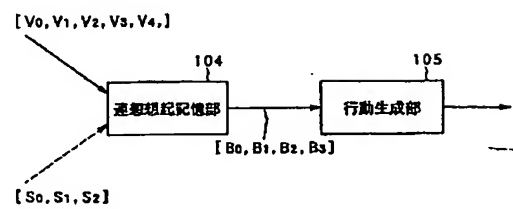
【図20】



【図33】

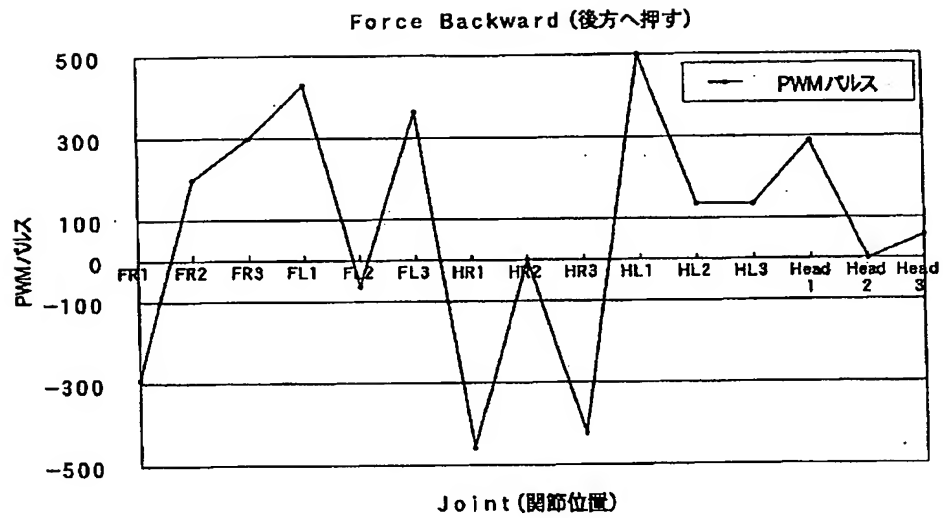


【図34】

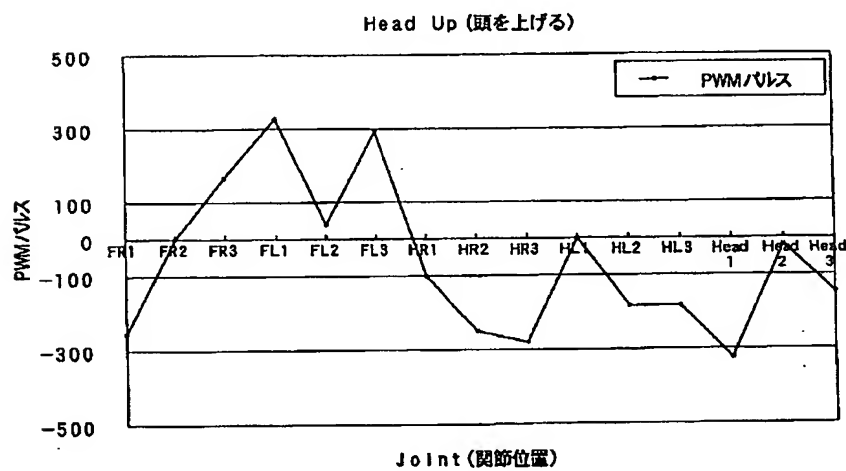




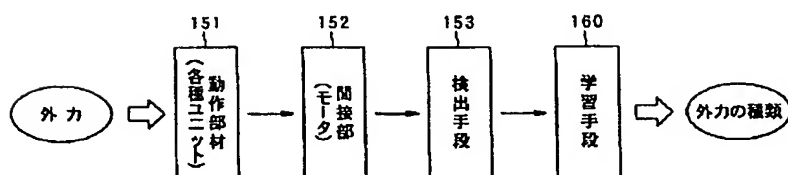
【図21】



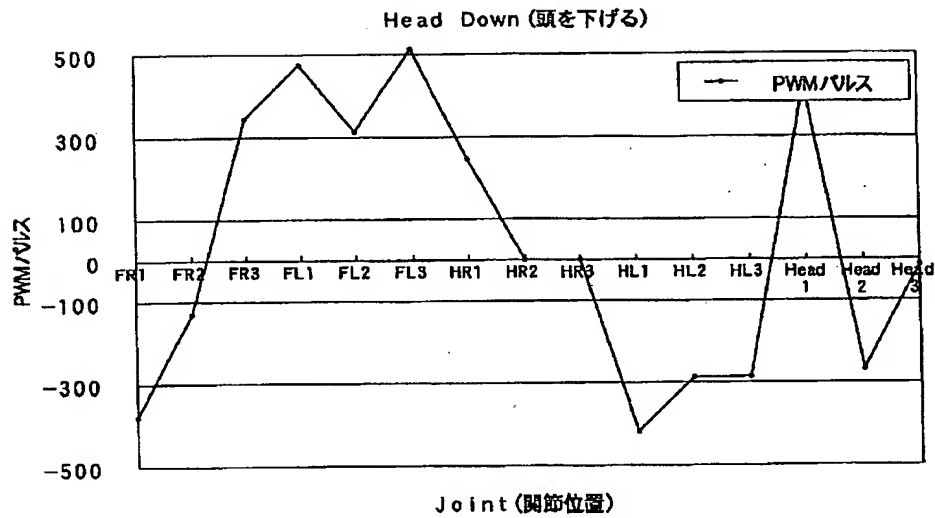
【図22】



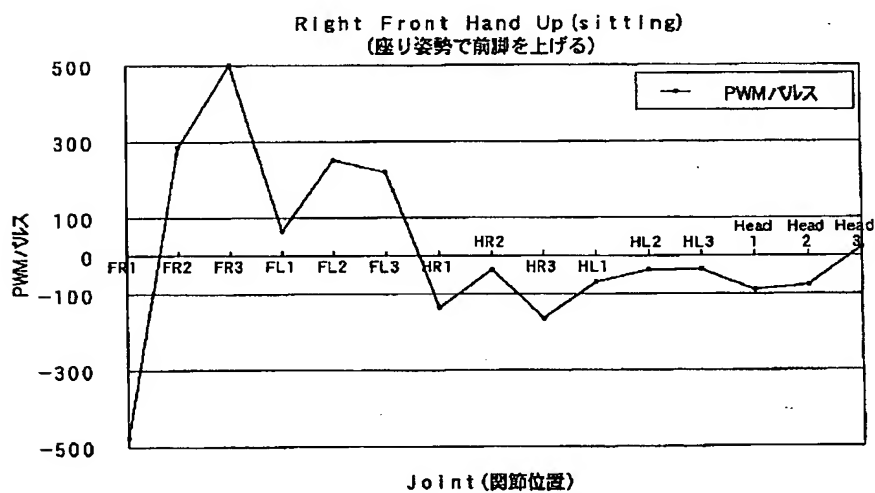
【図28】



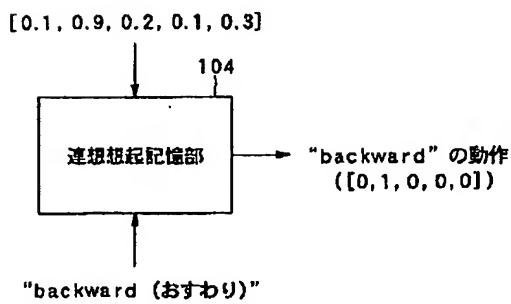
【図23】



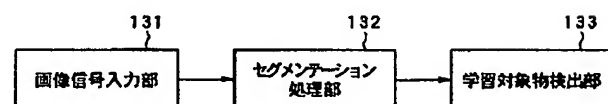
【図24】



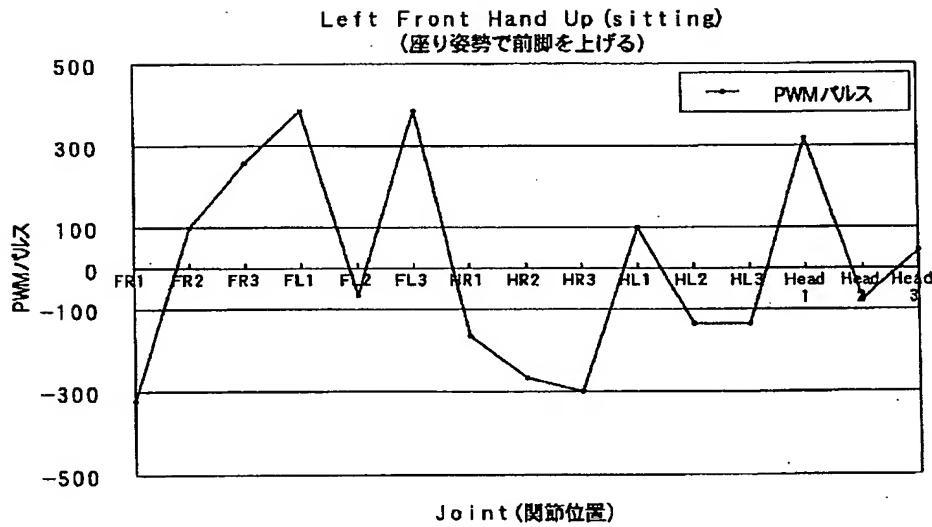
【図35】



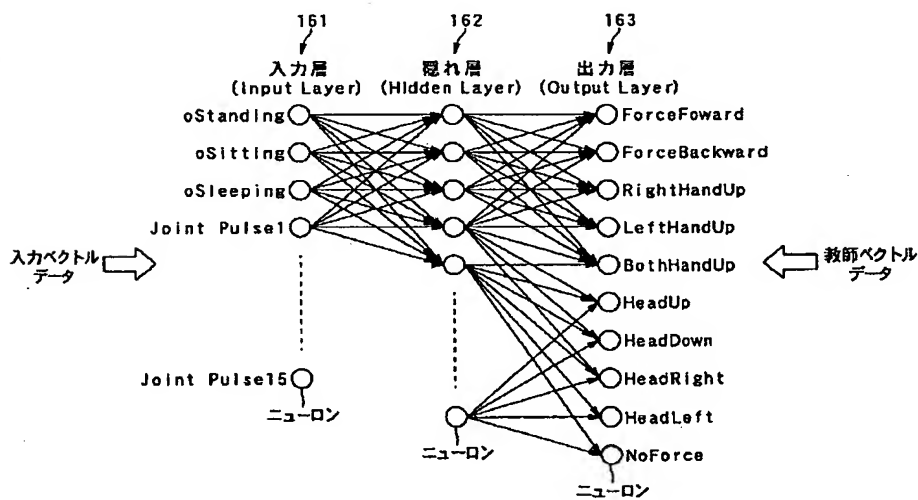
【図36】



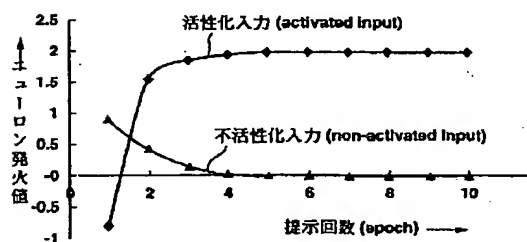
【図25】



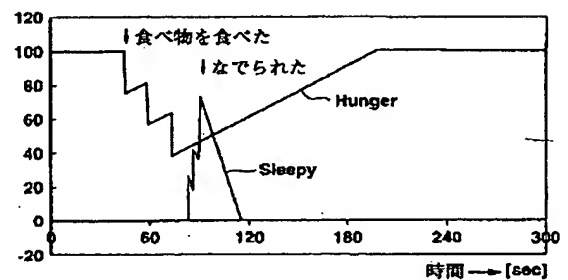
【図30】



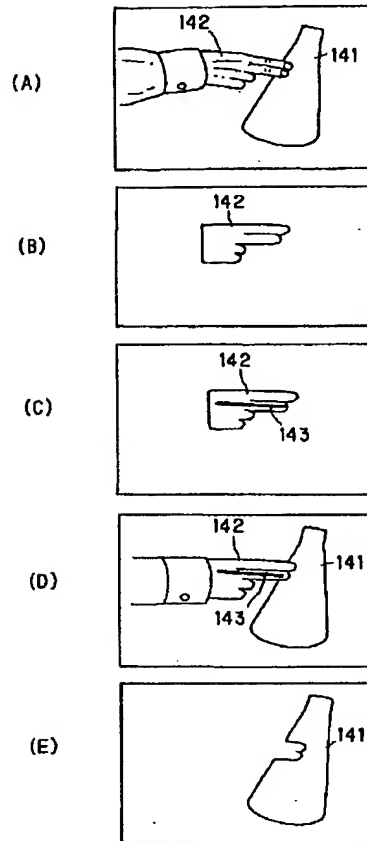
【図40】



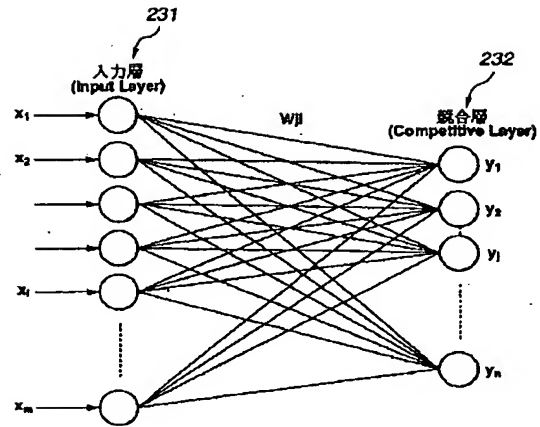
【図42】



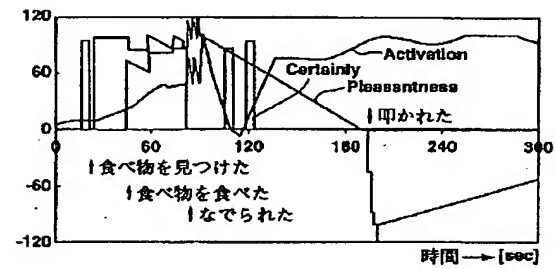
【図37】



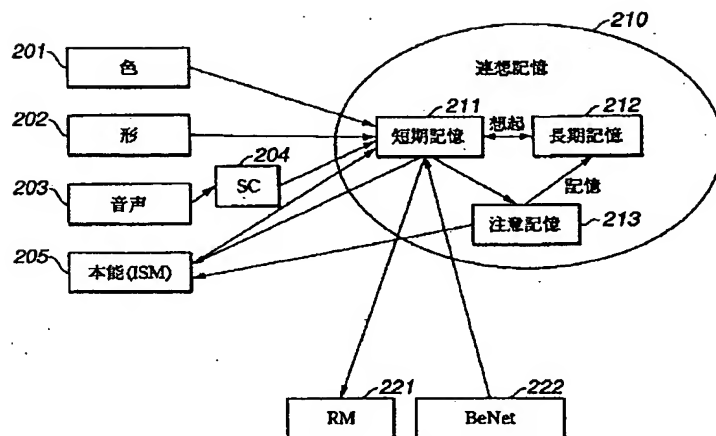
【図39】



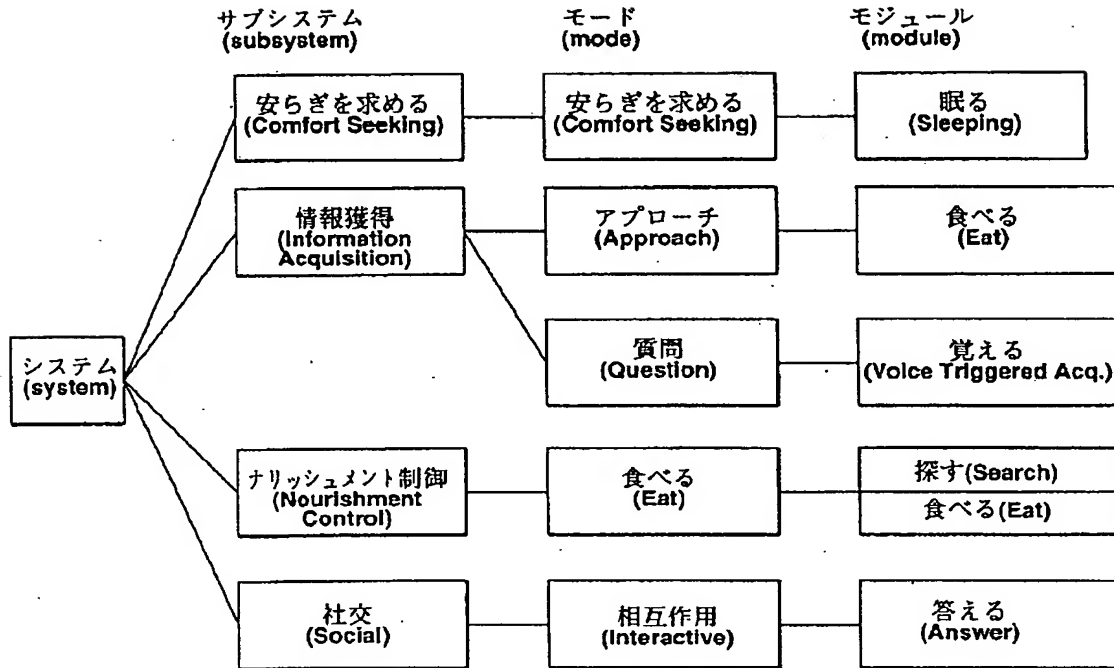
【図43】



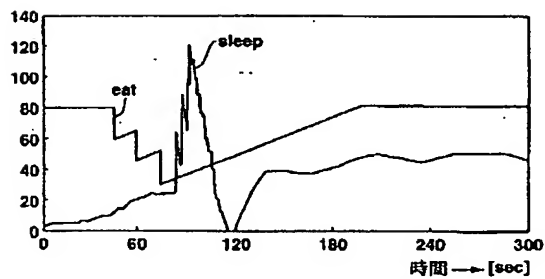
【図38】



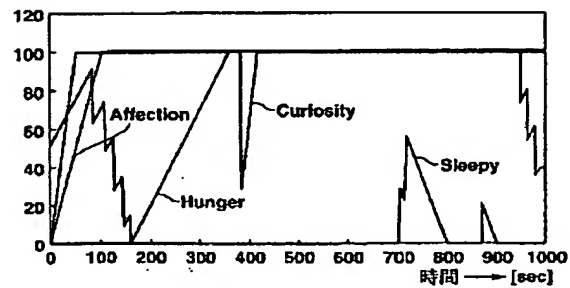
【図41】



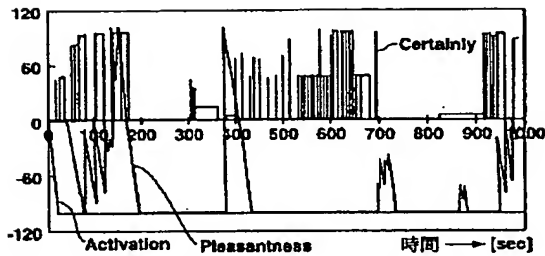
【図44】



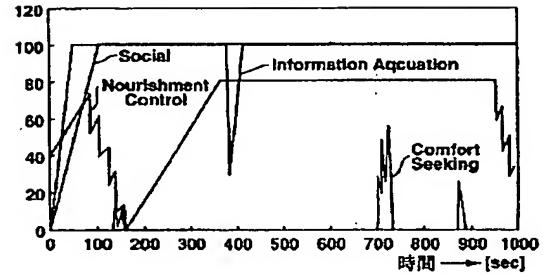
【図45】



【図46】



【図47】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
G10L 15/00

識別記号

F I  
G10L 3/00

テーマコード(参考)

551H

(72)発明者 長谷川 里香  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内  
(72)発明者 花形 理  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内  
(72)発明者 横野 順  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内  
(72)発明者 ガブリエル コスタ  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(72)発明者 下村 秀樹  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内  
Fターム(参考) 3C007 AS36 CY02 KS22 KS23 KS31  
KS33 KS36 KS39 KT02 KT11  
KV01 KV06 KV11 KV18 KX13  
LS06 LW12 LW15 MT14 WA04  
WA14 WB13 WB14 WB16 WB18  
WB19 WB23 WB25 WB26 WC10  
WC13 WC29  
5B057 AA05 BA02 CA12 CA16 DA11  
DC01 DC36  
5D015 AA05 GG00 KK01 KK02  
5L096 CA02 FA00 HA11 JA11 KA04



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-160185

(43)Date of publication of application : 04.06.2002

---

(51)Int.Cl. B25J 13/00

B25J 5/00

G06T 1/00

G06T 7/00

G10L 15/06

G10L 15/00

---

(21)Application number : 2001-103855 (71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 02.04.2001 (72)Inventor : FUJITA MASAHIRO

TAKAGI TAKESHI

HASEGAWA RIKA

HANAGATA OSAMU

YOKONO JUN

COSTA GABRIEL

SHIMOMURA HIDEKI

---

(30)Priority

Priority number : 2000101364

2000280871

Priority date : 31.03.2000

14.09.2000

Priority country : JP

JP

---

(54) ROBOT DEVICE, BEHAVIOR CONTROLLING METHOD FOR ROBOT  
DEVICE AND DEVICE AND METHOD FOR DETECTING EXTERNAL FORCE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To learn a behavior by linking it with input signals such as a sound signal.

SOLUTION: This robot device 1 comprises a sound recognizing part 101 adapted to detect information input at or before/after detecting a contact by a touch sensor that detects the contact, an association recall recording part 104 adapted to link an occurring behavior corresponding to the contact with input information (the sound signal) detected by the sound recognizing part 101 for recording it, and a behavior generation part 105 adapted to control the device such that it makes a behavior associated by the association recall recording part 104 on the basis of newly obtained input information (the sound signal). A sensor processing part 102 realizes the behavior corresponding to the contact detected by the touch sensor.

---

LEGAL STATUS [Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JP0 and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] A contact detection means to detect contact, and an input detection means to detect the information inputted the contact detection by the above-mentioned contact detection means, coincidence, or before and after time, A storage means to tie up and memorize the action which appeared according to the above-mentioned contact, and the input which the above-mentioned input detection means detected, Robot equipment characterized by having been reminded of action from the information in the above-mentioned storage means, and having the behavior control means which carries out the action based on the newly acquired input.

[Claim 2] The action which appeared according to the contact detection by the above-mentioned contact means is robot equipment according to claim 1 characterized by detecting contact from change of the control signal of the right hand side are as a result of [ of the right hand side by the external load of the above-mentioned contact ] displacement, and according [ the above-mentioned contact detection means ] to the above-mentioned external load.

[Claim 3] It is robot equipment according to claim 1 have an action appearance means make action appear according to the contact detection by the

above-mentioned contact detection means, and carry out that the above-mentioned storage means connects and memorizes the action made to appear according to the contact detection by the above-mentioned contact detection means, and the input the above-mentioned input detection means detected as the description.

[Claim 4] The above-mentioned input detection means is robot equipment according to claim 1 characterized by detecting either [ at least ] image information or speech information.

[Claim 5] The contact detection process of detecting contact, and the input detection process of detecting the information inputted the contact detection by the above-mentioned contact detection process, coincidence, or before and after time, The storage process which connects the action which appeared according to the above-mentioned contact, and the input detected at the above-mentioned input detection process, and is memorized for a storage means, The behavior control approach of the robot equipment characterized by being reminded of action from the information in a storage means, and having the behavior control process which carries out the action based on the newly acquired input.

[Claim 6] The robot equipment which carries out [ having had a storage means tie up and memorize an input detection means detect information, the action result information which show the result acted according to the input which the



above-mentioned input detection means detected, and the input concerned, and a behavior-control means specify the action result information in the above-mentioned storage means, and act based on the action result information concerned based on the newly inputted input, and ] as the description.

[Claim 7] An emotion is changed according to an external factor and/or an inner factor, and it acts based on the condition of an emotion. The above-mentioned storage means As a result of acting according to the above-mentioned input, by making the condition of the produced emotion into the above-mentioned action result information, it connects to the input concerned and memorizes. The above-mentioned behavior control means Robot equipment according to claim 6 characterized by recollecting the condition of an emotion of corresponding from the above-mentioned storage means, based on the above-mentioned input, and acting according to the condition of the emotion concerned.

[Claim 8] The above-mentioned input detection means is robot equipment according to claim 6 characterized by detecting either [ at least ] image information or speech information.

[Claim 9] The behavior-control approach of the robot equipment characterized by to have the storage process which connects the action result information which shows the result acted according to the input which an input detection means detected, and the input concerned, and memorizes for a record means,

and the behavior-control process which specify the action result information in the above-mentioned storage means, and act based on the action result information concerned based on the newly inputted input.

[Claim 10] An input detection means to detect information, and a characteristic quantity detection means to detect the characteristic quantity of the input which the above-mentioned input detection means detected, Based on the above-mentioned characteristic quantity, it is based on an information classification means to classify the above-mentioned input, and the classification of the above-mentioned input. Robot equipment characterized by having a reclassification means to change the classification of the above-mentioned input which caused the action concerned, based on the action result information which shows the result of having been controlled by the behavior control means and the above-mentioned behavior control means of acting, and having acted.

[Claim 11] Robot equipment according to claim 10 with which the above-mentioned input is characterized by being image information or speech information.

[Claim 12] The above-mentioned reclassification means is robot equipment according to claim 10 characterized by changing the classification of the above-mentioned input when the purport which was unpleasant is shown.

[Claim 13] The characteristic quantity detection process of detecting the

characteristic quantity of the input which the input detection means detected, The information classification procedure which classifies the above-mentioned input based on the characteristic quantity detected at the above-mentioned characteristic quantity detection process, It is based on the action result information which shows the result of having been controlled by the behavior control process and the above-mentioned behavior control process of acting, based on the classification of the above-mentioned input in the above-mentioned information classification procedure, and having acted. The behavior control approach of the robot equipment characterized by having the reclassification process which changes the classification of the above-mentioned input which caused the action concerned.

[Claim 14] The robot equipment characterized by to have a behavior control means act, based on the information on the study object memorized for a study object specification means specify a study object, a storage means memorize the information on the study object which the above-mentioned study object specification means specified, and the detected new object and the above-mentioned storage means.

[Claim 15] The above-mentioned study object specification means is robot equipment according to claim 14 which carries out the segment of the input image information, and is characterized by detecting the temporal response of a

field which carried out the segment, and specifying the object corresponding to the field to which the temporal response became the specified quantity as a study object.

[Claim 16] The above-mentioned study object specification means is robot equipment according to claim 14 characterized by specifying a study object based on input speech information.

[Claim 17] The above-mentioned study object specification means is robot equipment according to claim 16 characterized by the thing of input speech information for which a study object is specified at least from the information on one of the information on sound volume or a direction.

[Claim 18] The above-mentioned study object specification means is robot equipment according to claim 14 characterized by detecting the look of the informer who teaches the object for study, and specifying a study object from the look concerned.

[Claim 19] The behavior-control approach of the robot equipment which carries out [ having had the behavior-control process which acts based on the study object specification process of specifying a study object, the storage process which memorize the information on the study object specified at the above-mentioned study object specification process for a storage means, and the information on the study object which memorized for the detected new object

and the above-mentioned storage means, and ] as the description.

[Claim 20] Robot equipment characterized by to have a study means make a detection means detect the condition of the above-mentioned joint section that external force is acting through the joint section and the above-mentioned right-hand-side material for operating right-hand-side material and the above-mentioned right-hand-side material, and the condition and the above-mentioned external force of the above-mentioned joint section which the above-mentioned detection means detected correspond, and learn it.

[Claim 21] It is robot equipment according to claim 20 characterized by for the above-mentioned detection means detecting the external force which acts on the joint section concerned through the above-mentioned right-hand-side material as a condition of the above-mentioned joint section, and for the above-mentioned study means making the external force which the above-mentioned detection means detected, and the external force to the above-mentioned right-hand-side material correspond, and learning.

[Claim 22] It is robot equipment according to claim 20 characterized by for the above-mentioned detection means detecting the difference of the desired value of the condition of the joint section, and an actual measurement as a condition of the above-mentioned joint section, and for the above-mentioned study means making the difference and the above-mentioned external force of the

above-mentioned desired value and the actual measurement which the above-mentioned detection means detected correspond, and learning.

[Claim 23] It is robot equipment according to claim 22 characterized by for the above-mentioned detection means to detect change of the control signal of the above-mentioned joint section by the above-mentioned external force as a difference of the desired value of the condition of the above-mentioned joint section, and an actual measurement, and for the above-mentioned study means to make the control signal and the above-mentioned external force which the above-mentioned detection means detected, and which changed correspond, and to learn.

[Claim 24] Robot equipment according to claim 20 characterized by having further the control means of operation to which predetermined actuation is carried out based on the study result of the above-mentioned study means, and the condition of the account joint section after study.

[Claim 25] The above-mentioned study means is robot equipment according to claim 20 characterized by learning by the input layer and the neural network who hides and has a layer and an output layer.

[Claim 26] External force detection equipment characterized by having a detection means to detect the condition of the joint section for operating right-hand-side material, and an external force detection means to detect the

external force which acts on the above-mentioned right-hand-side material based on the condition of the joint section which the above-mentioned detection means detected.

[Claim 27] It is external force detection equipment according to claim 26 which the above-mentioned detection means detects the difference of the desired value of the condition of the joint section, and an actual measurement as a condition of the above-mentioned joint section, and is characterized by the above-mentioned external force detection means detecting the above-mentioned external force based on the difference of the above-mentioned desired value and the actual measurement which the above-mentioned detection means detected.

[Claim 28] It is external-force detection equipment according to claim 27 which the above-mentioned detection means detects change of the control signal of the above-mentioned joint section by the external force through the above-mentioned right-hand-side material as a difference of the desired value of the condition of the above-mentioned joint section, and an actual measurement, and is characterized by for the above-mentioned external force detection means to detect the above-mentioned external force based on the control signal which the above-mentioned detection means detected, and which changed.

[Claim 29] The external force detection approach which detects the condition of

the joint section for operating right-hand-side material, and is characterized by detecting the external force which acts on the above-mentioned right-hand-side material based on the condition of the detected above-mentioned joint section.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the external force detection equipment and the external force detection approach of detecting external force in the behavior control approach list of the robot equipment which controls action of robot equipment and robot equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, in the field called a knowledge acquisition or language acquisition, it was mainly a thing based on the associative storage of vision information and acoustic-sense information.

[0003] In "LEARNING WORDS FROM NATURAL AUDIO-VISUAL INPUT" (Deb Roy, Alex Pentland) (henceforth reference 1), research which learns language from input voice and an input image is done. The outline of the learning



technique in this reference 1 is as follows.

[0004] Coincidence or time amount is got mixed up, and a picture signal and a sound signal (acoustic signal) are made to input into a learning system. By reference 1, the event (Event) of the pair of the image inputted almost simultaneously in coincidence or time amount in this way and voice is called AV event (AV-Event).

[0005] Thus, about the picture signal and sound signal which were inputted, an image processing detects a color and a form from a picture signal, and voice section detection (RIKARENTO neural network) and phoneme analysis are performed from a sound signal by speech processing by one side. While specifically classifying the image inputted from the descriptions (distance etc.) in an image feature space into each class (the class for recognizing a specific image, recognition class.), the sound inputted from the descriptions (distance etc.) in a sound feature space is classified into each class (the class for recognizing a specific sound, recognition class.). The feature space is constituted as two-dimensional [ which used the color-difference signal and the luminance signal as the element ], or multi-dimension space beyond it, if it is the space constituted with two or more elements, for example, is a picture signal, as shown in drawing 1 . And since the inputted image shows predetermined distribution in such a feature space, recognition of a color is attained based on

such distribution. For example, in such a feature space, a class classification is carried out from distance relation, and a color is recognized.

[0006] recognition of a sound -- the continuation recognition HMM (Hidden Markov Model) -- law is adopted. The continuation recognition HMM method (only henceforth HMM) makes recognition possible by making a sound signal into a phoneme sequence. Moreover, an above-mentioned RIKARENTO neural network is the neural network of flow from which a signal returns to an input layer side.

[0007] And it is learning by tying up the phoneme based on the correlation (correlation study) about a concurrence by which the class classification was carried out to the class classification stimulus (image) by the image processing (relating). That is, although shown by the image, an identifier and description are gained as a study result.

[0008] For example, according to the above study, it is specified [ voice / input ] by the class classified into "a-ka", "a-o", "ki", ..., etc. which an input image is specified by the image class classified into "the red thing" which consists of image information, "a blue thing", ..., etc. (recognition), and consist of sound information as shown in drawing 2 (recognition).

[0009] And such an image and voice by which the class classification was carried out relate by correlation study, and are carried out. Thereby, when the

image input of "the red thing" is carried out, a learning system 200 can output the phoneme sequence of "a-ka" as a result of the correlation study.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, the robot equipment which acts autonomously according to a surrounding environment (external factor) and a surrounding internal state (conditions, such as an inner factor, for example, feeling, and instinct) is proposed in recent years. Such robot equipment is constituted as what considers interaction (dialogue) as human being or an environment. For example, the so-called pet robot which carries out the configuration imitated to the animal and behavior like an animal as robot equipment is proposed.

[0011] For example, in such robot equipment, making various information learn leads to improvement in the enjoyableness. If action can be made to learn especially, it can be said that enjoyableness increases.

[0012] However, when applying the learning technique (reference 1) mentioned above to the robot equipment constituted for the purpose of causing action, the following problems arise.

[0013] First, in learning technique which was mentioned above, it does not set up causing action appropriately.

[0014] By the above-mentioned reference 1, if the memorized word to an input

signal is generated or it is judged as a new signal, utterance will generate the sequence of a suitable phoneme and will be outputted. However, robot equipment is not necessarily asked for the output (utterance) which expresses an input signal as it is as interaction (dialogue) with human being or an environment, and it is required for it that suitable action should be caused to an input.

[0015] Moreover, when carrying out a class classification based on the distance relation between an image feature space and a sound feature space, about the image and voice which were acquired, it becomes near information in an image feature space and a sound feature space, but it is assumed, when the actions to it differ, or also when the actions to it want to differ. In such a case, it must be reflected in a class classification so that the optimal action may be made. However, the conventional technique cannot cope with such a situation.

[0016] Moreover, the conventional knowledge acquisition or language acquisition mainly consists of following matters.

(1) A means to generate the class classification of . picture signal, and a new class.

(2) A means to generate the class classification of . acoustic signal, and a new class.

(3) Means which ties up the result of . item (1) and an item (2). Or the means

which carries out [ sound / an image and ] correlation study.

[0017] Of course, there are some to which functions other than this are added.

However, these three are a component at least.

[0018] As the technique of a class classification of this item (1) and an item (2), various technique, such as mapping to a feature space, the parametric identifying method using the foresight-knowledge over a meaningful signal, and a probable class classification result, exists.

[0019] About an image, it can carry out by controlling the threshold in color templates, such as red, blue, green, and yellow, in a color space, for example, or the general image recognition technique, such as searching for the probability as each color from the distance in the storage region of a certain color and the feature space of an input color, can already be used to the color stimulus shown.

For example, search for the probability which is such a class from the distance of the field which the characteristic quantity of the inputted image shows from the field by which the class classification has already been carried out as characteristic quantity set to the feature space as shown in drawing 1 . Moreover, technique, such as a neural network, is also effective.

[0020] On the other hand about voice, the phoneme sequence remembered to be phoneme detection and the inputted phoneme sequence by HMM is compared, and the probable word recognition based on it etc. is used.

[0021] Moreover, there is the following as a means to generate the new class of the above-mentioned item (1) and an item (2).

[0022] It evaluates whether it belongs to the existing class to an input signal, and if it judges that it belongs to the existing class, the input signal will be made to belong to the class, and will be made to reflect in the evaluation approach belonging to a class. If it is judged that it belongs to no existing class, a new class will be generated, and it will learn so that evaluation belonging to [ the ] a class may be performed based on the input stimulus.

[0023] For example, when it is judged that it does not belong to the existing class (the class of Image A, the class of Image B, ...) about an image class as generation of a new class, as shown in (A) among drawing 3 A certain class (for example, class of Image A) is divided now, and the class of a new image is generated. About a sound class When it is judged that it does not belong to the existing class (the class of a sound alpha, the class of a sound beta, ...), as shown in (B) among drawing 3 , a certain class (class of a sound beta) is divided now, and the class of a new sound is generated.

[0024] Moreover, there is associative storage etc. in the technique of connecting the image of the above-mentioned item (3), and the class of a sound.

[0025] Let the discernment classes of an image be Vector (henceforth an image discernment vector) [i] ( $i = 0, 1, \dots, \text{NIC} - 1$ ) IC, and the vector (henceforth a sound

discrimination vector)  $[j]$  ( $j= 0, 1, \dots, NSC- 1$ ) SC of the discernment class of a sound. The probability or evaluation result value of each recognition class is set as each vector value to the image and sound signal which were shown (it inputs for study).

[0026] In the associative storage of a self-remembrance mold, it considers as one vector which can show the image discernment vector IC and the sound discrimination vector SC by (1) type and (2) formulas.

[0027]

[Equation 1]

$$CV[n]=IC[n] \quad (0 \leq n < NIC) \quad \dots (1)$$

[0028]

[Equation 2]

$$CV[n]=SC[n-NIC] \quad (0 \leq n < NSC) \quad \dots (2)$$

[0029] In addition, as associative storage of a self-remembrance mold, the so-called hop field network which the hop field advocates is famous.

[0030] Each vector is made by one vector as follows. Now, if Vector value flow coefficient is made into a column vector, the associative storage of a self-remembrance mold will be made by adding the matrix of  $\Delta W$  of (3) types to the matrix  $W$  which has memorized the present condition.

[0031]

[Equation 3]

$$\text{delta\_W} = \text{CV} \times \text{trans}(\text{CV}) \quad \dots (3)$$

[0032] Thereby, it considers that an image stimulus (inputted image) is a certain class, and it becomes possible to connect to the word (for this to be the class of HMM) of a speech recognition result at the class. Although each class shows suitable magnitude to the red of an image stimulus with whenever [ on a feature space / stimulus ], or, distance and each class reacts to the phoneme sequence of voice "a-ka" in suitable magnitude similarly by showing a new image (for example, red) and inputting voice "a-ka" High correlation will be shown in order that the class of the same image and voice may show a high value to the same stimulus by treating them as a matrix of correlation and equalizing them statistically by the above-mentioned formula. Thereby, if red is shown as an image, associative storage of the class of HMM "a-ka" will be carried out.

[0033] On the other hand, at "Perceptually grounded meaning creation" (Luc Steels, ICMAS, and Kyoto 1996) (henceforth reference 2), semantic acquisition is performed in the experiment called a discrimination game (Discrimination Game). A discrimination game is as follows as an outline.

[0034] As mentioned above, without an image and sound restricting, a system



carries out two or more general sensor channels and \*\*\*\*\* detectors, and is constituted. And if there is no characteristic quantity which is going to try in order that the object (software constitutes) called an agent (agent) may distinguish other objects (object already recognized) to the shown object (object) with those \*\*\*\*\* detectors, for example, is going to attain distinction-ization based on characteristic quantity, and can be distinguished, the new \*\*\*\*\* detector corresponding to the newly shown object will be made. And it loses, when it does not have the characteristic quantity detector without distinguishable characteristic quantity which case [ a detector ] namely, corresponds, and if had, evaluation called a victory is carried out.

[0035] And the whole system operates by the principle of SEREKUSHONISUTO.

That is, if it gathers and loses in the probability which will be survived if a game is won, a new characteristic quantity detector will be made. However, the new characteristic quantity detector is used in a next game, and it does not know whether take out a right result. The agent who improves distinction more comes to survive by such actuation.

[0036] The above is the outline of a discrimination game, and such a discrimination game can also be regarded as the technique of making a better \*\*\*\*\* detector by selection selection, if it puts in another way.

[0037] Moreover, at "The Spontaneous Self-organization of an Adaptive

Language" (Luc Steels, Muggleton, S.(ed.) (1996) Machine, Intelligence 15.) (henceforth reference 3), generating of language is discussed by the technique of a language game (Language Game). A language game consists of the following three steps.

[0038] The 1st step, propagation (propagation). The 2nd step, chestnut ESHON (creation). An agent (agent) makes a new word from this step, and it is associative attachment \*\* about the new description to it. The 3rd step, a self organization (self-organization). At this step, the system carries out self-organizing to selection by selection.

[0039] This language game consists of the 3rd step associated with the part of the 1st step which is in charge of the so-called image processing, the part (however, part which does not carry out speech recognition in fact, but inputs the so-called alphabetic character) of the 2nd step corresponding to the word related to language processing, and the image acquired from it and its word in step 1. There is no part in which the discrimination game mentioned above is equivalent to the 2nd step, and it is aimed only at distinction in the existing feature space.

[0040] Moreover, in "language acquisition by the voice input based on the conceptual structure from perceptual information" (Iwasaki, Tamura, Sony Computer Science Laboratory Inc.) (henceforth reference 4), HMM is used for speech recognition and the image is performing syntax acquisition using the

typical pattern (thing of colors, such as configurations, such as a round head and a trigonum, and red, and blue) which the color on the monitor of a computer attached.

[0041] By reference 4, as shown in drawing 4 , a user clicks the pattern on a monitor 210 (a certain body) with a mouse (directing with a pointer 212), and speaks with "a red round head" etc. with voice to coincidence. And the 1st step in the language game of the reference 3 mentioned above - the 3rd step are performed probable using the discriminator theory of game of a color image, and the speech recognition of HMM.

[0042] The verification (verification) by predetermined technique is performing generation of a new class. By this reference 4, when it judges that HMM is used for speech recognition and a new class is built with verification, a new class is generated by dividing that HMM further.

[0043] furthermore, a motion of the pattern which was in such a monitor 210 can be made to recognize by moving the pattern 211 chosen with the mouse by inputting into up to the 2nd object (Obj2) 213 actuation, simultaneously the voice of "carrying upwards" migration" so that it may be shown as a direction of an arrow head in drawing 4 [ object / 1st object 211 / "/" (Obj1) ] And about such recognized actuation, the class division is carried out by HMM.

[0044] As mentioned above, the technique about a knowledge acquisition or

language acquisition is proposed variously. However, the following problems exist from the field of the action acquisition (action study) in robot equipment also about such technique.

(1) The distance in the feature space of . input signal, and problem about class affiliation evaluation.

(2) Problem about . action generation and its evaluation.

(3) Problem about what both who perform interaction share . study object for.

The problem of a study object shared [ so-called ].

[0045] In an above-mentioned problem (1), there is a difficult situation only by being influenced by the storage information from which it was recollected by the sound signal with which only the information in connection with a picture signal in class affiliation evaluation was inputted into coincidence, or its two to the picture signal inputted, for example. In addition, class affiliation evaluation serves as an index of to which class to correspond here.

[0046] For example, it is assumed that the picture signal made very near in the feature space of the existing class was inputted. For example, as shown in (A) among drawing 5 , it is the case where Class A and Class B are close in an image feature space. However, the picture signal inputted here shall be made into the signal which should generate a class new in fact.

[0047] On the other hand, under such conditions, as other information on the

object corresponding to this picture signal, a sound signal is inputted into coincidence, and if decision that this inputted sound signal is very separated with the existing class is made, the new class about a sound will be generated about the object concerned. For example, as shown in (B) among drawing 5 , in a sound feature space, distribution shall differ and Class alpha (sound class matched with the class A of an image) and Class beta (sound class matched with the class B of an image) shall set up a threshold S2.

[0048] Therefore, if the class affiliation evaluation carried out to class affiliation evaluation of an image based on the feature space about a sound can be made to reflect, a class new also about an image is generable. For example, by making the class affiliation evaluation in a sound feature space reflect, as shown in (A) among drawing 5 , the threshold S1 which distinguishes both can be set up between the class A of approximation of the description, and Class B. That is, affiliation evaluation of a class comes to be appropriately made by referring to class affiliation evaluation of another side.

[0049] However, when a class is very near also about both a picture signal and a sound signal, it is difficult only now to generate an image and a class new about voice. Even if this is a time of having the completely different description seen from the 3rd feature space when the class approximates in the feature space of an image and a sound as shown in (A) and (B) for example, among drawing 6 , I

hear that distinction-ization cannot do them and there is. For example, what shows the description of action can be considered as the 3rd feature space.

[0050] Then, this invention is made in view of the above-mentioned actual condition, and aims at offer of the behavior control approach of the robot equipment which can distinguish an object appropriately in each feature space, and robot equipment.

[0051] Moreover, it is how do generate new action of robot equipment and to evaluate it about an above-mentioned problem (2), when the signal which should be judged to be new class affiliation, for example is inputted.

[0052] Although evaluation of language generating is considered to correspond to evaluation of the generated action by the conventional technique, the phoneme train of arbitration is generated by reference 3. Input signal \*\*\*\*\* becomes the identifier of the object by which it is contained in the picture signal etc. However, the motion train of arbitration cannot be generated as generation of action.

[0053] For example, even if each four feet generate the arbitration train of each joint angle of the robot equipment of three degrees of freedom, in almost all cases, they do not become likely to be meaningful. Moreover, although the phoneme sequence only becomes the identifier of the object (object) in language generating, it becomes a problem in action generation whether what

we do with evaluation of the right and wrong about the action which made such and was generated.

[0054] Moreover, this invention is made in view of such the actual condition, and aims at offer of the behavior control approach of the robot equipment which can generate suitable action, and robot equipment to the input.

[0055] Moreover, about an above-mentioned problem (3), it is the problem of a study object shared [ so-called ] (joint cautions), and originates in the information which robot equipment is perceiving being various. For example, human being has the ball of Orange in the completely different direction from the picture signal input section (for example, CCD camera) of robot equipment, and if the object (object) included in the visual field of robot equipment is a pink box even if it speaks and educates "the ball of Orange", "the ball of Orange" will be tied up for it.

[0056] Moreover, in the technique of the reference 4 mentioned above, although the pattern 211 on a monitor 210 was clicked with the mouse and specified as a study object (educational object), there is no assignment means of such a study object in the real world. Moreover, even when it is assumed that the theory of the above-mentioned reference 2 and reference 3 was applied to robot equipment, to the object which said among some objects included in vision, and the hand chose suitably, the action which robot equipment makes utters the identifier

according to storage of it, and says it based on the utterance, and it is said that a hand chooses a study object. Now, it is not the study which specified a study object which is made in the real world.

[0057] Moreover, this invention is made in view of such the actual condition, enables sharing (joint cautions) of a study object, and aims at offer of the behavior control approach of the robot equipment which can specify a study object appropriately, and robot equipment.

[0058] Moreover, although conventional robot equipment 1 detected that the force was applied to the head etc. from the exterior through the touch sensor formed in the head and was carrying out interaction (dialogue) with a user, interaction will be restricted by the number and its arrangement location of a sensor in this.

[0059] Then, this invention is made in view of such the actual condition, and aims at offer of the robot equipment which makes it possible to make high the degree of freedom of the interaction by the contact (external force) from a user, external force detection equipment, and the external force detection approach.

[0060]

[Means for Solving the Problem] A contact detection means to detect contact in order that the robot equipment concerning this invention may solve an above-mentioned technical problem, An input detection means to detect the



information inputted the contact detection by the contact detection means, coincidence, or before and after time, It has a storage means to tie up and memorize the action which appeared according to contact, and the input which the input detection means detected, and the behavior control means which is reminded of action from the information in a storage means, and carries out the action based on the newly acquired input.

[0061] An input detection means detects the information inputted before and after [ of the contact detection by the contact detection means ] time, and the action which appeared according to contact, and the input which an input detection means detected connect, it memorizes to a storage means, action associates from the information in a storage means based on the input newly acquired by the behavior-control means, and robot equipment equipped with such a configuration carries out the action.

[0062] Thereby, robot equipment makes corresponding action appear again, when input and the action which appeared on that occasion are tied up and memorized and the same input is inputted again.

[0063] Moreover, the behavior control approach of the robot equipment concerning this invention The contact detection process of detecting contact in order to solve an above-mentioned technical problem, and the input detection process of detecting the information inputted the contact detection by the contact

detection process, coincidence, or before and after time, It has the storage process which connects the action which appeared according to contact, and the input detected at the input detection process, and is memorized for a storage means, and the behavior control process which is reminded of action from the information in a storage means, and carries out the action based on the newly acquired input.

[0064] Corresponding action is made to appear again, when robot equipment tied up and memorizes input and the action which appeared on that occasion by such behavior control approach of robot equipment and the same input is inputted again.

[0065] Moreover, in order that the robot equipment concerning this invention may solve an above-mentioned technical problem An input detection means to detect information, and the action result information which shows the result of having acted according to the input which the input detection means detected, It has a storage means to tie up and memorize the input concerned, and a behavior control means to specify the action result information in a storage means, and to act based on the action result information concerned based on the newly inputted input.

[0066] Robot equipment equipped with such a configuration connects the action result information which shows the result of having acted according to the input

which the input detection means detected, and the input concerned, memorizes them for a storage means, specifies the action result information in a storage means based on the input newly inputted by the behavior-control means, and acts based on the action result information concerned.

[0067] Thereby, when input and the action result information on a result that it acted according to the input are tied up and memorized and the same input is inputted again, robot equipment recollects the past action based on the action result information which counters, and makes suitable action appear.

[0068] Moreover, the behavior-control approach of the robot equipment concerning this invention has the storage process which connects the action result information which shows the result acted according to the input which an input detection means detected in order to solve an above-mentioned technical problem, and the input concerned, and memorizes for a record means, and the behavior-control process which specify the action result information in the above-mentioned storage means, and act based on the action result information concerned based on the newly inputted input.

[0069] When robot equipment connects input and the action result information on a result that it acted according to the input, by such behavior control approach of robot equipment, it memorizes and the same input is inputted again, the past action is recollected based on the action result information which counters, and

suitable action is made to appear.

[0070] Moreover, the robot equipment concerning this invention has a reclassification means change the classification of the input which caused the action concerned based on the action result information which shows the result acted with an input detection means detect information, a characteristic-quantity detection means detect the characteristic quantity of the input which an input detection means detected, an information classification means classify input based on characteristic quantity, a behavior-control means act based on the classification of input, and a behavior-control means. The classification of the input which caused the action concerned changes with a reclassification means based on the action result information which shows the result robot equipment equipped with such a configuration detected the characteristic quantity of the input which the input detection means detected with a characteristic-quantity detection means, classified input according to an information classification means based on characteristic quantity, acted based on the classification of input with a behavior-control means, was controlled by the behavior-control means, and acted.

[0071] Thereby, robot equipment acts according to the classification of input, and changes the classification based on the result of having acted.

[0072] Moreover, the behavior control approach of the robot equipment

concerning this invention The characteristic quantity detection process of detecting the characteristic quantity of the input which the input detection means detected in order to solve an above-mentioned technical problem, The information classification procedure which classifies input based on the characteristic quantity detected at the characteristic quantity detection process, Based on the action result information which shows the result of having been controlled by the behavior control process which acts based on the classification of the input in an information classification procedure, and the behavior control process, and having acted, it has the reclassification process which changes the classification of the input which caused the action concerned.

[0073] By such behavior control approach of robot equipment, robot equipment acts according to the classification of input, and changes the classification based on the result of having acted. <BR> [0074] Moreover, in order to solve an above-mentioned technical problem, based on the information on the study object memorized for a study object specification means specify a study object, a storage means memorize the information on the study object which the study object specification means specified, and the detected new object and a storage means, it has robot equipment concerning this invention with a behavior-control means act.

[0075] Robot equipment equipped with such a configuration memorizes the

information on the study object which a study object specification means to specify a study object specified for a storage means, and acts with a behavior control means based on the information on the study object memorized for the detected new object and the storage means.

[0076] Thereby, robot equipment carries out predetermined action, when a study object is memorized and the same object is inputted again.

[0077] Moreover, the behavior-control approach of the robot equipment concerning this invention has the behavior-control process which acts based on the study object specification process of specifying a study object, the storage process which memorize the information on the study object specified at the study object specification process for a storage means, and the information on the study object which memorized for the detected new object and the storage means, in order to solve an above-mentioned technical problem.

[0078] By such behavior control approach of robot equipment, robot equipment carries out predetermined action, when a study object is memorized and the same object is inputted again.

[0079] Moreover, the robot equipment concerning this invention is equipped with a study means to make a detection means to detect the condition of the joint section that external force is acting through the joint section and the right-hand-side material for operating right-hand-side material and

right-hand-side material, and the condition and external force of the joint section which the detection means detected correspond, and to learn them in order to solve an above-mentioned technical problem.

[0080] Robot equipment equipped with such a configuration makes the condition and external force of the joint section which detected the condition of the joint section that external force was acting through right-hand-side material, with the detection means, and the detection means detected correspond, and is learned with a study means. That is, robot equipment is made to correspond to the condition of the joint section which changes according to the external force which acts on right-hand-side material, and learns the external force concerned.

[0081] Moreover, the external force detection equipment concerning this invention is equipped with a detection means to detect the condition of the joint section for operating right-hand-side material, and an external force detection means to detect the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which the detection means detected in order to solve an above-mentioned technical problem.

[0082] External force detection equipment equipped with such a configuration detects the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which detected the condition of the joint section for operating right-hand-side material with the detection means, and the detection

means detected. That is, external force detection equipment detects the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which operates the right-hand-side material concerned.

[0083] Moreover, in order to solve an above-mentioned technical problem, the external force detection approach concerning this invention detects the condition of the joint section for operating right-hand-side material, and detects the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the detected joint section. That is, the external force detection approach detects the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which operates the right-hand-side material concerned.

[0084]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained in detail using a drawing. The gestalt of this operation is robot equipment of the autonomous mold which acts autonomously according to a surrounding environment (external factor) or an internal condition (inner factor).

[0085] First, the gestalt of operation explains the configuration of robot equipment and explains the application part of this invention in robot equipment to a detail after that.

[0086]

(1) As shown in the block diagram 7 of the robot equipment by the gestalt of this



operation, while considering as the so-called pet robot of the configuration which imitated the "dog" and connecting the leg units 3A, 3B, and 3C and 3D with front and rear, right and left of the idiosoma unit 2, respectively, the head unit 4 and the tail section unit 5 are connected and constituted by the front end section and the back end section of the idiosoma unit 2, respectively.

[0087] As shown in drawing 8 , the control section 16 formed by connecting CPU (Central Processing Unit)10, DRAM (Dynamic Random Access Memory)11, a flash ROM (Read Only Memory) 12, PC (Personal Computer) card interface circuitry 13, and a digital disposal circuit 14 mutually through an internal bus 15 and the dc-battery 17 as a source of power of this robot equipment 1 are contained by the idiosoma unit 2. Moreover, the angular-velocity sensor 18, an acceleration sensor 19, etc. for detecting the sense of robot equipment 1 and the acceleration of a motion are contained by the idiosoma unit 2.

[0088] Moreover, the CCD (Charge Coupled Device) camera 20 for picturizing an external situation to the head unit 4, The touch sensor 21 for detecting the pressure received by "it strokes" and the physical influence of "striking" from a user, The distance robot 22 for measuring the distance to the body located ahead, LED (Light Emitting Diode) (not shown) equivalent to the microphone 23 for collecting alien frequencies, the loudspeaker 24 for outputting voice, such as a cry, and the "eye" of robot equipment 1 etc. is arranged in the predetermined

location, respectively.

[0089] Furthermore, Actuators 251-25n and Potentiometers 261-26n for free frequency are arranged in the joining segment of the joint part of each leg unit 3A-3D, each joining segment of each leg unit 3A-3D and the idiosoma unit 2, the head unit 4, and the idiosoma unit 2, and the list by the joining segment of tail 5A of the tail section unit 5, respectively. For example, Actuators 251-25n have the servo motor as a configuration. Leg unit 3A - 3D are controlled by the drive of a servo motor, and it changes in a target posture or actuation.

[0090] And LED and 251-25n of each actuator are connected with the digital disposal circuit 14 of the control section 16 through the hubs 271-27n corresponding to various sensor lists, such as these angular-velocity sensor 18, an acceleration sensor 19, a touch sensor 21, a distance robot 22, a microphone 23, a loudspeaker 24, and each potentiometers 261-26n, respectively, and direct continuation of CCD camera 20 and the dc-battery 17 is carried out to the digital disposal circuit 14, respectively.

[0091] In addition, in study of operation (action), signals, such as this angular-velocity sensor 18, an acceleration sensor 19, and 261-26n of potentiometers etc., are used so that it may mention later.

[0092] A digital disposal circuit 14 incorporates sensor data, and the image data and voice data which are supplied from each above-mentioned sensor one by

one, and carries out sequential storing of these through an internal bus 15 in the predetermined location in DRAM11, respectively. Moreover, a digital disposal circuit 14 incorporates the dc-battery residue data showing the dc-battery residue supplied from a dc-battery 17 with this one by one, and stores this in the predetermined location in DRAM11.

[0093] Thus, each sensor data stored in DRAM11, image data, voice data, and dc-battery residue data are used in case CPU10 performs motion control of this robot equipment 1 after this.

[0094] CPU10 stores direct read-out and this in DRAM11 for the control program stored in the memory card 28 or flash ROM 12 with which the PC Card slot which the idiosoma unit 2 does not illustrate was loaded through the PC card interface circuitry 13 at the time of the first stage when the power source of robot equipment 1 was switched on in practice.

[0095] Moreover, CPU10 judges [ after this ] the situation of self and a perimeter, the existence of the directions from a user, and influence, etc. from a digital disposal circuit 14 based on each sensor data by which sequential storing is carried out, image data, voice data, and dc-battery residue data to DRAM11 as mentioned above.

[0096] Furthermore, CPU10 can make the head unit 4 able to shake vertically and horizontally, can move tail 5A of the tail section unit 5, or makes it act by

making the required actuators 251-25n drive based on the decision result concerned to make it walk by making each leg unit 3A-3D drive etc. while it opts for the action which continues based on the control program stored in this decision result and DRAM11.

[0097] Moreover, in this case, CPU10 generates voice data if needed, by giving this to a loudspeaker 24 as a sound signal through a digital disposal circuit 14, makes the voice based on the sound signal concerned output outside, or turns on, switches off or blinks above-mentioned LED.

[0098] Thus, in this robot equipment 1, it is made as [ act / according to the situation of self and a perimeter the directions from a user, and influence / it / autonomously ].

[0099] (2) the software configuration of a control program -- here comes to show the software configuration of the above-mentioned control program in robot equipment 1 to drawing 9 . In this drawing 9 , the device driver layer 30 is located in the lowest layer of this control program, and consists of device driver sets 31 which consist of two or more device drivers. In this case, each device driver is the object allowed \*\* which carries out direct access to the hardware used by usual computers, such as CCD camera 20 ( drawing 8 ) and a timer, and processes in response to interruption from corresponding hardware.

[0100] Moreover, the ROBOTIKKU server object 32 With the virtual robot 33

which becomes by the software group which offers the interface for being located in the lowest layer of the device driver layer 30, for example, accessing hardware, such as various above-mentioned sensors and Actuators 251-25n With the BAWA manager 34 who becomes by the software group which manages the change of a power source etc. It consists of a device driver manager 35 who becomes by the software group which manages other various device drivers, and a dither INDO robot 36 which becomes by the software group which manages the device of robot equipment 1.

[0101] The manager object 37 consists of an object manager 38 and a service manager 39. The object manager 38 is a software group which manages starting and termination of each software group contained in the ROBOTIKKU server object 32, the middleware layer 40, and the application layer 41, and a service manager 39 is a software group which manages connection of each object based on the initial entry between each object described by the connection file stored in the memory card 28 ( drawing 8 ).

[0102] The middleware layer 40 is located in the upper layer of the ROBOTIKKU server object 32, and consists of software groups which offer the fundamental function of these robot equipments 1, such as an image processing and speech processing. Moreover, the application layer 41 is located in the upper layer of the middleware layer 40, and consists of software groups for opting for action of

robot equipment 1 based on the processing result processed by each software group which constitutes the middleware layer 40 concerned.

[0103] In addition, the concrete software configuration of the middleware layer 40 and the application layer 41 is shown in drawing 10 , respectively.

[0104] As shown in drawing 10 , the middleware layer 40 For noise detection, The object for temperature detection, the object for brightness detection, the object for scale recognition, the object for distance detection, for posture detection, The recognition system 60 which has the input semantics converter module 59 etc. in the object for touch sensors, the object for motion detection, and each signal conditioning module 50 for color recognition - 58 lists, It consists of output systems 69 which have each signal conditioning modules 61-67 for the object for posture management, the object for tracking, the object for motion playback, the object for a walk, the object for a fall return, the object for LED lighting, and sound playback etc. in output semantics converter module 68 list.

[0105] Each signal conditioning modules 50-58 of the recognition system 60 incorporate the data with which it corresponds of each sensor data read from DRAM11 ( drawing 8 ) by the virtual robot 33 of the ROBOTIKKU server object 32, or image data and voice data, perform predetermined processing based on the data concerned, and give a processing result to the input semantics converter module 59. Here, the virtual robot 33 is constituted by the

predetermined protocol as a part which carries out transfer or conversion of a signal.

[0106] The input semantics converter module 59 It is based on the processing result given from each [ these ] signal conditioning modules 50-58. "The fall was detected", [ "it is "noisy", hot / "hot" /, and bright", "the ball having been detected", and ] The self of "it was stroked", "it having been struck", "the scale of C-E-G having been heard", "the body which moves having been detected", "having detected the obstruction", etc. and a surrounding situation, the command from a user, and influence are recognized, and a recognition result is outputted to the application layer 41 ( drawing 8 ).

[0107] Application layer 41., as shown in drawing 11 , it consists of five modules, the behavioral model library 70, the action change module 71, the study module 72, the feeling model 73, and the instinct model 74.

[0108] As shown in drawing 12 , "a fall return is carried out" and when [ "when a dc-battery residue decreases, and avoiding an obstruction" ], the behavioral model library 70 is made to correspond to the condition item of the shoes "\*\*\*\* expressing feeling", "at the time of detecting a ball", etc. chosen beforehand, respectively, and the behavioral models 701-70n which became independent, respectively "are formed" in it.

[0109] And these behavioral models 701-70n The time of a recognition result

being given from the input semantics converter module 59, respectively, The parameter value of the corresponding emotion currently held like the after-mentioned at the feeling model 73 if needed when fixed time amount has passed, after the last recognition result is given, It opts for the action which continues while referring to the parameter value of the corresponding desire currently held at the instinct model 74, respectively, and a decision result is outputted to the action change module 71.

[0110] In the case of the gestalt of this operation, in addition, each behavioral models 701-70n As the technique of opting for the next action As opposed to the arc ARC1 - ARCn which connect between to each node NODE0 - NODEn for to other nodes NODE0 of which - NODEn it changes from one node (condition) NODE0 as shown in drawing 13 - NODEn The algorithm called the finite stochastic automaton determined probable based on the transition probability P1-Pn set up, respectively is used.

[0111] Concretely, each behavioral models 701-70n are made to correspond to the node NODE0 which forms the self behavioral models 701-70n, respectively - NODEn, respectively, and have the state transition table 80 as shown in drawing 14 for every these node NODE0 - NODEn.

[0112] In this state transition table 80, the input event (recognition result) made into transition conditions in that node NODE0 - NODEn is listed by the line of an



"input event name" at a priority, and the further conditions about that transition condition are described by the "data name" and the corresponding train in the line of the "data range."

[0113] therefore, in the node NODE100 expressed in the state transition table 80 of drawing 14 When the recognition result of "detecting a ball (BALL)" is given The range of "magnitude (SIZE)" of the ball given with the recognition result concerned is "0 to 1000", When the recognition result of "detecting an obstruction (OBSTACLE)" is given, they have been conditions for that the range of "the distance (DISTANCE)" to the obstruction done with the recognition result concerned is "0 to 100" to change to other nodes.

[0114] Moreover, in this node NODE100, when there is no input of a recognition result, it also sets. The inside of each emotion held at the feeling model 73 and the instinct model 74 which 701-70n of behavioral models refers to periodically, respectively, and the parameter value of each desire, it was held at the feeling model 73 -- "-- glad (JOY) -- " -- "-- surprised (SURPRISE) -- " -- or -- "-- feeling sad (SADNESS) -- " -- when the range of one of parameter value is "50 to 100", it can change to other nodes.

[0115] moreover -- a state transition table 80 -- "-- others, while the node name which can change from the node NODE0 - NODEn in the train of the "transition place node" in the column of transition probability" of NODOHE is listed It is

described by the part where it corresponds in the column of transition probability" of NODOHE, respectively. the transition probability to each of other node NODE0 which can change when all the conditions described by the line of an "input event name", a "data value", and the "range of data" are met - NODEn -- "-- others -- the action which should be outputted in case it changes to the node NODE0 - NODEn -- "-- others -- it is described by the line of "output action" in the column of transition probability" of NODOHE. in addition -- "-- others -- the sum of the probability of each line in the column of transition probability" of NODOHE is 100 [%].

[0116] therefore, in the node NODE100 expressed in the state transition table 80 of drawing 14 for example, when the recognition result that it carries out "detecting a ball (BALL)", and the range of "SIZE (magnitude)" of the ball is "0 to 1000" is given It can change to "a node NODE120 (node 120)" by the probability of "30 [%]", and action of "ACTION1" will be then outputted.

[0117] When they are constituted as a lot of nodes NODE0 described as such [ respectively ] a state transition table 80 - NODEn(s) are connected, and a recognition result is given from the input semantics converter module 59, each behavioral models 701-70n opt for the next action probable using the state transition table of the node NODE0 - NODEn, and are made as [ output / to the action change module 71 / a decision result ].

[0118] The action change module 71 shown in drawing 11 chooses from each behavioral models 701-70n of the behavioral model library 70 the action outputted from the high behavioral models 701-70n of the priority beforehand defined among the actions outputted, respectively, and sends out the command (this is hereafter called action command.) of the purport which should perform the action concerned to the output semantics converter module 68 of the middleware layer 40. In addition, in the gestalt of this operation, priority is set up highly about 701-70n of behavioral models written by the bottom in drawing 12 .

[0119] Moreover, the action change module 71 notifies that the action was completed based on the completion information of action given from the output semantics converter module 68 after the completion of action to the study module 72, the feeling model 73, and the instinct model 74.

[0120] On the other hand, the recognition result of the instruction received as influence from a user, such as the study module 72 "was struck" among the recognition results given from the input semantics converter module 59 and "it having been stroked", is inputted.

[0121] And based on the notice from this recognition result and the action change module 71, the study module 72 reduces the manifestation probability of that action, when "struck" (scolded), and when "stroked" (praised), it changes corresponding behavioral models [ in the behavioral model library 70 / 701-70n ]

corresponding transition probability so that the manifestation probability of that action may be raised.

[0122] on the other hand, the feeling model 73 -- "-- glad (joy) -- " -- "-- feeling sad (sadness) -- " -- "-- getting angry (anger) -- " -- "-- surprised (surprise) -- " -- "dislike (disgust)" -- and -- "-- afraid (fear) -- " -- the parameter with which the strength of the emotion is expressed for every emotion is held about a total of six emotions. And the feeling model 73 updates the parameter value of each [ these ] emotion periodically based on the notice from the specific recognition result to which it is given from the input semantics converter module 59, respectively, such as "it having been struck" and "it having been stroked", and elapsed time and the action change module 71 etc.

[0123] The recognition result to which the feeling model 73 is specifically given from the input semantics converter module 59, The amount of fluctuation of the action and its emotion when being computed by predetermined operation expression based on the elapsed time after updating last time etc. of the robot equipment 1 at that time  $E[t]$ , The multiplier which expresses the sensibility of  $E[t]$  and its emotion for the parameter value of the current emotion is set to  $k_e$ .

(4) By the formula, as parameter value [ of the emotion in the following period ]  $E[t+1]$  is computed and this is replaced with parameter value [ of the current emotion ]  $E[t]$ , the parameter value of the emotion is updated. Moreover, the

feeling model 73 updates the parameter value of all emotions like this.

[0124]

[Equation 4]

$$E[t+1] = E[t] + k_e \times \Delta E[t]$$

[0125] In addition, it is decided beforehand what the notice from each recognition result or the output semantics converter module 68 has effect of on amount of fluctuation  $\Delta E[t]$  of the parameter value of each emotion  $E[t]$ . For example, the recognition result of "having been struck" has big effect on amount of fluctuation  $\Delta E[t]$  of the parameter value of the emotion of the "resentment"  $E[t]$ , and the recognition result of "having been stroked" has big effect on amount of fluctuation  $\Delta E[t]$  of the parameter value of the emotion of "joy"  $E[t]$ .

[0126] Here, the notice from the output semantics converter module 68 is the so-called feedback information (the completion information of action) of action, and is the information on the appearance result of action, and the feeling model 73 changes feeling also using such information. this -- for example, the feeling level of the resentment falls by action of "barking" -- like -- they are things. In addition, the notice from the output semantics converter module 68 is inputted also into the study module 72 mentioned above, and the study module 72

changes behavioral models [ 701-70n ] corresponding transition probability based on the notice.

[0127] In addition, feedback of an action result may be made with the output (action to which feeling was added) of the action change modulator 71.

[0128] on the other hand, "movement avarice (exercise)", "love avarice (affection)", "appetite (appetite)", and "the curiosity (curiosity) of the instinct model 74" are mutually-independent -- the parameter with which the strength of the desire is expressed for these the desires of every is held about four desires the bottom. And the instinct model 74 updates the parameter value of these desires periodically based on the recognition result to which it is given from the input semantics converter module 59, respectively, the notice from elapsed time and the action change module 71, etc.

[0129] The instinct model 74 specifically about "movement avarice", "love avarice", and "curiosity" The amount of fluctuation of that the desire of the when being computed by predetermined operation expression based on the notice from a recognition result, elapsed time, and the output semantics converter module 68 etc.  $\Delta I[k]$ , The parameter value of the current desire as a multiplier  $k_i$  showing the sensibility of  $I[k]$  and its desire As parameter value [ of that desire in the following period ]  $I[k+1]$  is computed using (5) types with a predetermined period and this result of an operation is replaced with parameter

value [ of that current desire ]  $I[k]$ , the parameter value of that desire is updated.

Moreover, the instinct model 74 updates the parameter value of each desire except "appetite" like this.

[0130]

[Equation 5]

$$I[k+1]=I[k]+k_i \times \Delta I[k] \quad \dots (5)$$

[0131] In addition, it is decided beforehand what the notice from a recognition result and the output semantics converter module 68 etc. has effect of on amount of fluctuation  $\Delta I$  [ of the parameter value of each desire ]  $I[k]$ , for example, it has effect to amount of fluctuation  $\Delta I$  [ of the parameter value of the "fatigue" ]  $I[k]$  with the big notice from the output semantics converter module 68.

[0132] In addition, in the gestalt of this operation, it is regulated so that each emotion and the parameter value of each desire (instinct) may be changed in the range from 0 to 100, respectively, and the value of multipliers  $k_e$  and  $k_i$  is also set up according to the individual for each [ an emotion and ] the desire of every.

[0133] On the other hand, abstract action commands, such as it being [ which is given from the action change module 71 of the application layer 41 as mentioned above ] "advance", "it being glad", the output semantics converter module 68 of the middleware layer 40 "cries", as shown in drawing 10 , or "tracking (a ball is

pursued)", are given to the signal conditioning modules 61-67 with which the output system 69 corresponds.

[0134] And these signal conditioning modules 61-67 The servo command value which should be given to the actuators 251-25n ( drawing 8 ) in order to perform the action based on the action command concerned, if an action command is given, Or the drive data given to LED of a "eye" are generated. the voice data of the sound outputted from a loudspeaker 24 ( drawing 8 ) -- and -- Sequential sending out of these data is carried out at the actuators 251-25n which correspond through the virtual robot 33 and digital disposal circuit 14 ( drawing 8 ) of the ROBOTIKKU server object 32 one by one, a loudspeaker 24, or LED.

[0135] Thus, in robot equipment 1, it is made based on the control program as [ perform / the situation of self (interior) and a perimeter (exterior), the directions from a user, and autonomous action according to influence ].

[0136] (3) When the change robot equipment 1 of the instinct and feeling according to an environment "is still brighter" in a perimeter, it becomes cheerful, and to this, when dark [ "dark" ] in a perimeter, it is made as [ change / according to the degree of three conditions (henceforth an environmental condition), the "noise" of the surrounding environments, "temperature", and a "illuminance", such as becoming calm, / feeling and instinct ].

[0137] That is, the temperature sensor (not shown) for detecting surrounding



temperature to robot equipment 1 in addition to CCD camera 20 mentioned above as an external sensor for detecting a surrounding situation, a distance robot 22, a touch sensor 21, a microphone 23, etc. is formed in the predetermined location. As a corresponding configuration, each signal conditioning modules 50-52 for the object for noise detection, the object for temperature detection, and brightness detection are formed in the recognition system 60 of the middleware layer 40.

[0138] The signal conditioning module 50 for noise detection detects surrounding noise level based on the voice data from the microphone 23 ( drawing 8 ) given through the virtual robot 33 of the ROBOTIKKU server object 32, and outputs a detection result to the input semantics converter module 59.

[0139] The signal conditioning module 51 for temperature detection detects surrounding temperature based on the sensor data from the temperature sensor given through the virtual robot 33, and outputs a detection result to the input semantics converter module 59.

[0140] The signal conditioning module 52 for brightness detection detects a surrounding illuminance based on the image data from CCD camera 20 ( drawing 8 ) given through the virtual robot 33, and outputs a detection result to the input semantics converter module 59.

[0141] The input semantics converter module 59 recognizes the degree of

surrounding "noise", "temperature", and a "illuminance" based on the output of each [ these ] signal conditioning modules 50-52, and outputs the recognition result concerned to the inner statement-model section of the application module 41 ( drawing 11 ) as mentioned above.

[0142] Concretely, the input semantics converter module 59 recognizes the degree of the surrounding "noise" based on the output of the signal conditioning module 50 for noise detection, and outputs "it being noisy" or the recognition result of "being quiet" to the feeling model 73 and instinct model 74 grade.

[0143] Moreover, the input semantics converter module 59 recognizes the degree of surrounding "temperature" based on the output of the signal conditioning module 51 for temperature detection, and outputs "it being hot" or the recognition result of "being cold" to the feeling model 73 and instinct model 74 grade.

[0144] Furthermore, the input semantics converter module 59 recognizes the degree of a surrounding "illuminance" based on the output of the signal conditioning module 52 for brightness detection, and outputs "it being bright" or the recognition result of "being dark" to the feeling model 73 and instinct model 74 grade.

[0145] The feeling model 73 changes each parameter value periodically as mentioned above according to (4) types based on the various recognition results

given from the input semantics converter module 59.

[0146] And the feeling model 73 makes the value of the multiplier  $k_e$  of corresponding (4) types about an emotion defined beforehand fluctuate based on the recognition result about the "noise" and the "temperature" which are given from the input semantics converter module 59, and a "illuminance."

[0147] When the recognition result of "being noisy" is given, the increment in a predetermined number of the value of the multiplier  $k_e$  to the emotion of the "resentment" is carried out, and when the recognition result of "being quiet" is given to this, specifically, as for the feeling model 73, predetermined number reduction of the value of the multiplier  $k_e$  to the emotion of the "resentment" is carried out. By this, it will be influenced by surrounding "noise" and the parameter value of the "resentment" will change.

[0148] Moreover, the feeling model 73 carries out predetermined number reduction of the value of the multiplier  $k_e$  to the emotion of "joy", when the recognition result of "being hot" is given, and when the recognition result of "being cold" is given to this, it carries out the increment in a predetermined number of the value of the multiplier  $k_e$  to the emotion of "sadness." By this, it will be influenced by surrounding "temperature" and the parameter value of "sadness" will change.

[0149] furthermore, the feeling model 73 carries out the increment in a

predetermined number of the value of the multiplier  $k_e$  to the emotion of "joy", when the recognition result of "being bright" is given -- making -- this -- receiving -- [-- it is dark -- " -- \*\* -- when the said recognition result is given, the increment in a predetermined number of the value of the multiplier  $k_e$  to the emotion of "fear" is carried out. By this, it will be influenced by surrounding "illuminance" and the parameter value of "fear" will change.

[0150] The instinct model 74 changes the parameter value of each desire periodically as mentioned above like this according to (5) types based on the various recognition results given from the input semantics converter module 59.

[0151] Moreover, the instinct model 74 makes the value of the multiplier  $k_i$  of (5) types of the corresponding desire defined beforehand fluctuate based on the recognition result about the degree of the "noise" and the "temperature" which are given from the input semantics converter module 59, and a "illuminance."

[0152] When the recognition result of "being "noisy" and bright" is given, predetermined number reduction of the value of the multiplier  $k_i$  to the "fatigue" is carried out, and when the recognition result of "being "quiet" and dark" is given to this, specifically, as for the instinct model 74, the increment in a predetermined number of the value of the multiplier  $k_i$  to the "fatigue" is carried out. Moreover, the instinct model 74 carries out the increment in a predetermined number of the value of the multiplier  $k_i$  to the "fatigue", when "it

being hot" or the recognition result of "being cold" is given.

[0153] consequently, when action of robot equipment 1 "has" a noisy perimeter Since it is easy to increase the parameter value of the "resentment" and the parameter value of the "fatigue" becomes easy to decrease It becomes the action in which action carried out "since" as a whole, and to this, since [ whose a perimeter is "quiet" ] the parameter value of the "resentment" tends to decrease and it occasionally becomes easy to increase the parameter value of the "fatigue", action turns into action "fallen and attached" as a whole.

[0154] moreover, when action of robot equipment 1 "is hot" in a perimeter Since the parameter value of "joy" tends to decrease and it becomes easy to increase the parameter value of the "fatigue" Action turns into "lazy" action [ like ] as a whole, and since it is easy to increase the parameter value of "sadness" when cold [ "cold" ] in a perimeter, and it becomes easy to increase the parameter value of the "fatigue" to this, action turns into action "which feels the cold" as a whole.

[0155] moreover, when action of robot equipment 1 "is bright" in a perimeter Since it is easy to increase the parameter value of "joy" and the parameter value of the "fatigue" becomes easy to decrease, action turns into "cheerful" action as a whole, and when dark [ "dark" ] in a perimeter, to this Since it is easy to increase the parameter value of "joy" and becomes easy to increase the

parameter value of the "fatigue", action turns into "calm" action as a whole.

[0156] As mentioned above, robot equipment 1 is constituted, and robot equipment 1 can change feeling and instinct according to an environment, and it can act autonomously according to the condition of the feeling and instinct.

[0157] (4) Explain the important section to which this invention was applied in the explanation above-mentioned robot equipment 1 of the whole application (4-1) of this invention. Robot equipment 1 is connected to a picture signal, a sound signal (acoustic signal), etc., action (relating) is learned, and after study is constituted so that the picture signal and sound signal which were tied up may cause action. Although the following explanation mainly explains the example which connects voice to action as study, it cannot be overemphasized that an image can be connected to action, either. Specifically, robot equipment 1 has the following configurations for implementation of this invention. Robot equipment 1 is equipped with the speech recognition section 101, the sensor processing section 102, the instinct emotion section 103, the associative remembrance storage section 104, and the action generation section 105 as shown in drawing 15.

[0158] The speech recognition section 101 functions here as an input detection means to detect the information inputted the contact detection by the touch sensor (touch sensor 21 grade shown in drawing 8 ) made into a contact

detection means to detect contact, coincidence, or before and after time. The associative remembrance storage section 104 functions as a storage means to tie up and memorize the action which appeared according to contact, and the input (sound signal) which the speech recognition section 101 detected. The action generation section 105 Based on the newly acquired input (sound signal), it functions as a behavior control means which carries out action of which the associative remembrance storage section 104 was reminded. Moreover, the sensor processing section 102 has a function as an action appearance means to make action appear according to the contact detection by the touch sensor which is not illustrated for example. Specifically, each component functions as follows.

[0159] The speech recognition section 101 carries out speech processing of the sound signal inputted from the outside (microphone 23), and recognizes it as predetermined language. HMM is used for the speech recognition section 101, it is constituted, and, specifically, recognizes the inputted voice as a phoneme sequence by two or more recognition classes depended on HMM.

[0160] Moreover, in the speech recognition section 101, it is possible to also make a class increase from the existing class by study. For example, as shown in (B) among drawing 9 , when the input of the voice which cannot be recognized is made, the existing class is divided and a new class is generated. The existing

class with high reliability (affiliation evaluation) is specifically divided to the inputted voice, and a new class is generated. For example, in division of a class, the low part of the description nature is divided as a new class in the class concerned. It not only can recognize by this the language registered beforehand, but it can recognize new language now.

[0161] The sensor processing section 102 generates the signal of the taught actuation (action) based on change of a sensor signal. That is, the sensor processing section 102 recognizes the inputted action information.

[0162] For example, about the actuation taught, it may be based on the actuation set up beforehand and may be based on the actuation newly set up by the user. Moreover, some can be chosen of the already set-up actions and it can generate.

[0163] Instruction of the actuation set up beforehand is that actuation is taught by making the input of the sensor signal from a touch sensor into a trigger (ignition). for example, -- ", when the predetermined touch sensor which stood and was formed in back back in posture" is pushed making a "stability posture" change -- beforehand -- setting up -- an actual scene -- setting -- "-- when the touch sensor which stands and is formed in such back back in posture" is pushed, the transition to a "stability posture" comes out so that it may say that it is taught as actuation.

[0164] In addition, about the location in which the sensor for teaching such



actuation is formed, metaphors may be a head, a leg tip, etc. Thus, by forming a sensor in arbitration, it becomes possible to teach various actuation.

[0165] Moreover, carrying out as instruction of the actuation performed by setting up newly using change of the signal which controls a right hand side (joint section), for example etc. is mentioned. Right hand sides are the actuators (servo motor etc.) 251-25n formed in the joining segment of tail 5A of the tail section unit 5 etc. at the joining segment of the joint part of each leg unit 3A-3D, each joining segment of each leg unit 3A-3D and the idiosoma unit 2, the head unit 4, and the idiosoma unit 2, and the list, as mentioned above.

[0166] For example, when a user moves the right hand side of robot equipment 1 compulsorily, a load is generated in the right hand side concerned. The signal which differs from the usual actuation (actuation without an external load) with the load to a right hand side at this time, for example, the servo signal to the right hand side concerned, occurs. If based on such a signal, it is possible to grasp transition of a posture, i.e., actuation. Since it is such, the actuation made to change compulsorily by the user can be learned as new actuation by memorizing such a signal. Instruction of such new actuation is explained in full detail later. In addition, although it is explaining in full detail further later, robot equipment 1 detects external force (external load) from change of such a signal by this invention, and it is made as [ said / it / that the external force concerned

was learned ].

[0167] Furthermore, the sensor processing section 102 can also carry out class recognition of the action to learn. For example, from the characteristic quantity in an action feature space, class recognition can be carried out and the inputted action information can also be learned.

[0168] The instinct emotion section 103 is a part in which the information on the emotion connected to voice which was mentioned above, or action is stored. That is, the instinct information bureau 103 is changing the instinct and feeling with the sensor signal inputted by an instinct model and the feeling model, as mentioned above.

[0169] The associative remembrance storage section 104 learns based on the information from the speech recognition section 101 which was mentioned above, the sensor processing section 102, and the instinct emotion section 103, and generates the action information corresponding to the voice further inputted based on the study after study, or an image. For example, the associative storage of the conventional technique which connects the image explained using (1) type and (2) types and the class of a sound as a matrix of correlation is used for the associative remembrance storage section 104, and it is carrying out associative storage of each information.

[0170] For example, as the sensor processing section 102 mentioned above, the

associative remembrance storage section 104 from a sensor output -- ", when stand, instruction of actuation of the transition to a "stability posture" from posture" is detected, coincidence or time amount is got mixed up and the speech recognition section 101 has recognized the language of "stability" the associative remembrance storage section 104 -- "-- it stands, and actuation of the transition to a "stability posture" from posture" and the utterance of "stability" are tied up and memorized (study). This is what it is generally made as instruction of the "stability" to the dog of an animal.

[0171] Moreover, only when the language inputted as the inputted actuation is beforehand set up as a pair, the associative remembrance storage section 104 ties up the actuation and language, and can learn them (igniting). For example, if instruction, coincidence, or time amount of the so-called actuation of "stability" which was mentioned above is got mixed up and the language of "stability" is inputted, the actuation will be learned (it connects and memorizes), but to the other language, if actuation is not learned, say:

[0172] Moreover, the associative remembrance storage section 104 can be associated and can also be learned by carrying out the instinct and feeling which are outputted to the recognized actuation or language from the instinct emotion section 103. For example, when voice (language) is inputted at the time of study, and fear is sensed, such feeling can also be tied up and learned to such voice. ---

[0173] As mentioned above, the associative remembrance storage section 104 relates, learns by carrying out voice, actuation, or feeling (connecting), and comes to generate action information after study corresponding to an image, voice, etc. which were inputted based on such a study result.

[0174] The action generation section 105 generates action based on the action information outputted from such the associative remembrance storage section 104. for example, -- the case where the language of "stability" is inputted for the associative remembrance storage section 104 after study of instruction of "stability" which was mentioned above -- "-- it stands and the action to a "stability posture" from posture" made to change is made to appear (it is made to cause)

[0175] Thus, robot equipment 1 can connect speech information and change of a sensor signal, can learn actuation, and can discover action (actuation) now as a study result based on the voice inputted.

[0176] For example, a series of processings in robot equipment 1 until it learns and outputs actuation of "stability" are as follows.

[0177] At the time of study, as shown in (A) among drawing 16 , robot equipment 1 gets mixed up a sound signal (acoustic signal), coincidence, or time amount, and a contact signal is given. As a sound signal, "stability" is inputted, for example. moreover -- giving a contact signal -- "-- it is equivalent to standing and giving change to the sensor signal of the right hand side which participates in the

actuation by instruction of actuation of the transition to a "stability posture" from posture." In addition, as mentioned above, a touch sensor or a press carbon button (for example, stability instruction carbon button) is prepared in a predetermined part, by actuation (press) of this touch sensor, such actuation can also be taught and giving a contact signal means generating of the signal by actuation of such a touch sensor in this case.

[0178] The actuation which changes by such study actuation as robot equipment 1 is shown all over this drawing (A-2) out of drawing 16 (A-1) is taught.

[0179] And by giving the language taught at the time of study (acoustic signal), for example, "stability", as shown in (B-1) of (B) among drawing 16 after study, robot equipment 1 comes to change into the posture of the "stability" made into the same posture as the inside of drawing 16 taught at the time of study (A-2), as shown in drawing 16 (B-2).

[0180] Moreover, about the actuation to teach, it is not limited to actuation which was mentioned above. That is, or it pushes upward the bottom of the neck which gets mixed up voice input (utterance), coincidence, or time amount, for example, pushes the back of robot equipment 1 ahead, and it pushes down, actuation of raising the nose gear can also be taught. It becomes instruction of actuation, such as "lie down", "stand", or a "hand", by connecting the source language to instruction of such actuation.

[0181] Moreover, for example, robot equipment 1 can also carry out the following study.

[0182] First, robot equipment 1 learns the actuation "to kick" as study of action.

The nose-gear section is operated by the user (informer) and, specifically, actuation of "kicking" is learned in an object. Study of operation may be based on the actuation set up beforehand, and may be based on new actuation. On the other hand, the language "a-ka" obtained according to the language recognition and the red by whom image recognition was done are made to correspond, and it memorizes.

[0183] As such a study result, robot equipment 1 generates "dirt and the actuation which can kick, carries out speech recognition of the utterance of " and is kicked by action generation to a "red" body. For example, specification of a red object carries out the segmentation of the input image, and is performed by specifying a red part. That is, the body equivalent to red which carried out the segment is specified as an object.

[0184] Moreover, with the gestalt of above-mentioned operation, although information connected to action is made into speech information, it is not limited to this. For example, image information can be connected to action information. It has the image recognition section for recognizing a specific image in this case from the picture signal from the image pick-up means of CCD camera 20 grade.

[0185] Moreover, although the case where it is connected with the gestalt of above-mentioned operation to the action and language which had the instinct or the emotion outputted from the instinct emotion section 103 learned is explained, it is not limited to this. For example, the instinct and the emotion which were generated in late-coming can also be made to link to the action and language which are set up beforehand.

[0186] Furthermore, robot equipment 1 can also memorize the inputs (for example, language, an image, etc.) used as the emotion caused by the output (actual action) and its cause, and the output concerned (study). Thereby, robot equipment 1 recollects the memorized corresponding emotion from the input of language etc., and it can also make predetermined action appear in the actual scene after study, without outputting the place which should carry out the output corresponding to such an input, if it is original (action).

[0187] for example, the thing for which the emotion of fear to which it was caused when robot equipment 1 touched a certain red thing (input) (action), for example, a feeling by having sensed heat, (emotion) is memorized (study) -- a behind red thing -- only seeing (there having been an input) -- fear is recollected and the fear can be made to be able to express as action (predetermined action is taken) That is, other suitable actuation is made to appear, without appearing actuation of the past of touching a red thing.

[0188] For example, it functions as a storage means tie up and memorize the action result information which shows the result to which the above-mentioned associative remembrance storage section 104 acted according to the sound signal which the speech-recognition section 101 detected in such a case, and the sound signal concerned, and it functions as a behavior-control means act based on the action result information which the associative remembrance storage section 104 specified, based on the sound signal into which the action generation section 105 was newly inputted.

[0189] Moreover, robot equipment 1 can have effect of the space of other inputs, an emotion, and action on the feature space of an input signal, and can also affect the class classification of the input signal concerned. That is, as shown in (A) and (B) among drawing 12 , when the class approximates in the feature space of an image and a sound for example, the class classification of an image and a sound is carried out with reference to the 3rd feature space (for example, feature space of action).

[0190] As opposed to the input of the 1st object (image) specifically characterized with the picture signal When a compensation (for example, "stroked") is obtained when the 1st action is taken, and the 1st action is similarly taken to the 2nd object very near the 1st object in an image feature space as a result of a class classification (purport approximated in an image feature space),



it is punishment (for example). When it obtains [ "it was knocked" and ], on the occasion of the input of the 2nd object on and after next time, it takes except the 1st action. That is, using the result (here action result) of the class classification in other feature spaces, the classification of other classes is affected or the strategy of a class classification is changed into it.

[0191] For example, in such a case, the speech recognition section 101 has a function as an information classification means to classify a sound signal, based on an input detection means, a characteristic quantity detection means to detect the characteristic quantity of the sound signal which the input detection means detected, and characteristic quantity. Here, with the classification of the sound signal based on characteristic quantity, it corresponds to the class classification by HMM. In addition, the function as a characteristic quantity detection means is realized by the characteristic quantity extract section 122 shown in drawing 33 explained in full detail later, and the function as an information classification means is realized by the HMM section 123 shown in drawing 33 .

[0192] Furthermore, the speech recognition section 101 will have a function as a reclassification means to change the classification (recognition class) of the sound signal which caused the action concerned, based on the action result information (for example, a compensation, punishment) which shows the result of having been controlled by the action generation section 105 and having acted.

In addition, about study by associative storage, when praised, study which stimuli (voice, an image, action, etc.) connect to the taken action can also be performed.

[0193] In the above, the whole part concerning this invention in robot equipment 1 was explained. Next, it explains still more concretely about each part.

[0194] (4-2) The study (example of the sensor processing section) robot equipment 1 of actuation of arbitration is considering actuation (action) to learn as the actuation set up beforehand or actuation of arbitration, as mentioned above. Here, study of actuation of arbitration, i.e., study of new actuation, is explained.

[0195] As robot equipment 1 was mentioned above, each joint is controlled by the servo motor. Robot equipment 1 generates the include-angle time series of each joint by include-angle assignment (include-angle assignment information) from CPU10, and is outputting actuation as the result.

[0196] Moreover, the pulse signal given to the include angle of an actual joint and the motor by the potentiometer attached to the joint as a signal from the servo control section can be obtained. Instruction of actuation of arbitration is used instead of sensor signals, such as a touch sensor which teaches actuation which mentioned such a pulse signal above, and which is set up beforehand, and is performed.

[0197] Robot equipment 1 is among drawing 17 as a concrete configuration for learning actuation of such arbitration. As shown in (A), it has the discernment section 111. Here, the discernment section 111 serves as an example in the case of being constituted in order that the sensor processing section 102 shown in drawing 15 may learn actuation of arbitration. The discernment section 111 learns actuation based on the pulse width of the control signal to each joint motor.

[0198] By the way, since [ which is ] robot equipment 1 is made as [ change / into each posture ], it has not stopped at the fixed posture in the case of study of operation. in this case -- "-- it is necessary to stand and to make the same actuation learn in each posture, such as posture" and a "stability posture" Therefore, when teaching actuation with the pulse width which controls a right hand side (joint section), it is necessary to carry out, when each posture has been grasped.

[0199] Since it is such, the discernment section 111 is equipped with two or more discrimination circuits 1111 and 1112 and ... according to each posture, as shown in (B) among drawing 17 . for example, the 1st discrimination circuit 1111 -- the object for the study of operation at the time of a "stability posture", and the 2nd discrimination circuit 1112 -- "-- standing -- posture" -- the object for the study of operation at the time -- as -- it comes out.

[0200] In this way, based on attitude information current from two or more discrimination circuits 1111 and 1112 and ..., the discernment section 111 is switched to the desired discrimination circuit of 1, and learns actuation in an arbitration posture.

[0201] In addition, the attitude information which is the information on the present posture can be recognized from the information acquired from each potentiometers 261-26n, the angular-velocity sensor 18, or an acceleration sensor 19, for example, gravity information. Moreover, based on the command outputted as a control signal of a right hand side, the present attitude information can also be acquired from the action generation section 105.

[0202] The comparison with the pulse width in the condition of having not given external force performs study. Although the pulse width to which each joint takes this in the usual condition serves as a pattern regular in a certain amount of error range, when external force is added, the pattern differs from the usual thing. Such relation is used and the information on the actuation learned is acquired from the difference between the usual actuation and the pattern at the time of applying external force and teaching actuation. Specifically, actuation is learned as follows.

[0203] For example, it stands from attitude information, the pulse width when applying external force to the 1st discrimination circuit 1111 for study of

operation, when recognized as it being a posture is given as information, and the information assigned to coincidence at the actuation is given. For example, as shown in (6) types, the signal used as the so-called PID control is used for the pulse width used in study of operation. And specifically, the pulse width by which PWM control was carried out is used.

[0204]

[Equation 6]

$$P = P_g \times e_n + I_g \times \sum_{i=0}^n e_i \Delta t + D_g \times \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta T} \quad \dots (6)$$

[0205] Here,  $e_i$  is an error value (difference of the target include angle of a potentiometer, and a current include angle (actual include angle)) in time of day  $i$ , and  $P_g$ ,  $I_g$ , and  $D_g$  are constants and use the P value of such (6) types.

[0206] For example, as the pulse width to give and information on of operation, it considers as a vector value. For example, it considers as a 5-dimensional vector [V0, V1, V2, V3, V4] as information assigned to the actuation to learn. Here, five kinds of stimuli can be recognized now by making the element of a vector into five pieces, V0, V1, V2, V3, and V4. Specifically, it learns by [ as being the following ].

[0207] When the back is pushed in the direction of back (backward), O1= [0, 1, 0, 0, 0] is given as the vector P1 constituted from pulse width then generated, and

information on of operation that it corresponds. For example, as shown in drawing 18 , the vector value (backward) P1 of pulse width, and [0, 1, 0, 0, 0] are given to a discrimination circuit 1111.

[0208] Here, each values V0, V1, V2, V3, and V4 are learned as the real number between 0 and 1 (floating point), and they are set to 1, so that the part stimulated (study) is large. as the result depended on acquisition of action by O1= [0, 1, 0, 0, 0] -- a vector -- [0. -- it is obtained as the real numbers, such as 1, 0.9, 0.2, 0.1, and 0.3].

[0209] Moreover, when the back is pushed forward, O2= [0, 0, 1, 0, 0] is given as the vector P2 constituted from pulse width then generated, and information on of operation that it corresponds. When a neck is pushed down, O3= [0, 0, 0, 1, 0] is given as the vector P3 constituted from pulse width then generated, and information on of operation that it corresponds. When a neck is pushed up upwards, O4= [0, 0, 0, 0, 1] is given as the vector P4 constituted from pulse width then generated, and information on of operation that it corresponds. And O0= [1, 0, 0, 0, 0] is given as information on of operation that it corresponds to the vector P0 of pulse width when external force is not added, and it as initial value of a posture for example, and actuation is learned as compared with this and the value mentioned above.

[0210] For example, the example of pulse width is shown in drawing 19 thru/or

drawing 25 . By this drawing 19 thru/or drawing 25 , the location of each joint is shown on an axis of abscissa, and the so-called value of an PWM pulse is shown on an axis of ordinate by it.

[0211] Drawing 19 stands and shows the value of the pulse width (value of a pulse signal) in a posture. Here, "FR1" is [ the location of the 2nd joint (joint in the knees) and "FR3 of the location of the 1st joint (joint of a shoulder) of a forward right foot and "FR2"" ] the locations of the 3rd joint (joint of an ankle) among drawing. Moreover, "floor lines1" is [ the location of the 2nd joint (joint in the knees) and "floor line3 of the location of the 1st joint (joint of a shoulder) of a forward left foot and "floor line2"" ] the locations of the 3rd joint (joint of an ankle). Moreover, "HR1" is [ the location of the 2nd joint (joint in the knees) and "HR3 of the location of the 1st joint (joint of a shoulder) of a right rear foot and "HR2"" ] the locations of the 3rd joint (joint of an ankle). Moreover, "HL1" is [ the location of the 2nd joint (joint in the knees) and "HL3 of the location of the 1st joint (joint of a shoulder) of back crus sinistrum diaphragmatis and "HL2"" ] the locations of the 3rd joint (joint of an ankle). Moreover, a neck consists of many joints and "Head1", "Head2", and "Head3" show the location corresponding to each. Also in the following drawing 20 thru/or drawing 25 , it is the same. Thus, in a certain condition (a posture or actuation), the vector value P used for the study which could acquire the value of the pulse width of a total of 15 pieces, namely, was

mentioned above can be acquired as a vector value which consists of a 15-dimensional element.

[0212] When it stands and the back is pushed forward in a posture When it became pulse width as shown in drawing 20 , and it stands and the back is back pushed in a posture When it became pulse width as shown in drawing 21 , and it stands and the head is pushed upward in a posture When it became pulse width as shown in drawing 22 , and it stands and the head is pushed down in a posture When it becomes pulse width when it becomes pulse width as shown in drawing 23 and a right trail is held in a stability posture, as shown in drawing 24 and crus sinistram diaphragmatis are held in a stability posture, it becomes pulse width as shown in drawing 25 . Based on such pulse width, the discernment section grasps a posture and learns actuation.

[0213] Moreover, if robot equipment 1 is performed to an actual animal by having \*\* and the unpleasant judging section 112 as shown in drawing 26 , it can learn actuation similarly.

[0214] \*\* and the unpleasant judging section 112 distinguish the value of the emotion which specifies \*\* or dysphoria to the output from the sensor processing section 102. And an action emotion is outputted according to it. For example, \*\* and the unpleasant judging section 112 output the action information which causes the action which avoids dysphoria, when the value of the emotion which



specifies the dysphoria in the feeling model 73 is large. For example, the back will be judged to be unpleasant if pushed backward, and the action information which changes into a "stability posture" is outputted. moreover -- being unpleasant, if the back is pushed forward or the head is pushed down -- judging -- "-- the action information which turns down and changes to posture" is outputted. Moreover, if it turns down and a neck is raised upward from a posture, it will judge that it is unpleasant and the action information which changes into a "stability posture" will be outputted. moreover -- being unpleasant if a neck is raised upward from a stability posture -- judging -- "-- the action information which stands and changes to posture" is outputted. That is, the above actuation has a large load from the outside, and is actuation discovered by sensing that it is unpleasant. Based on such action information, the action generation section 105 generates action.

[0215] Thus, by making actuation discover, if an actual dog etc. is made to learn a posture, similarly, the robot equipment 1 it was sensed that was unpleasant will change a posture itself, and will learn such transition actuation.

[0216] In addition, study of actuation which was mentioned above is performed by inputting multiple times. Moreover, it learns about other postures (other discrimination circuits). and about the configuration of each discrimination circuit, the study which employed the hierarchical neural network should make, for

example -- \*\* -- it constitutes like. For example, in the case of the neural network of three layers, as shown in drawing 27 , it constitutes from an input layer, an interlayer, and an output layer. In such a case, study is made by the following procedures as an outline.

[0217] In an input layer, the sensor signal corresponding to the input layer concerned by which the gestalt was carried out is inputted into each neurone. In the middle class, the characteristic quantity of the data transmitted from each neurone of an input layer is extracted. Specifically, each neurone of the middle class extracts and evaluates the characteristic quantity paying attention to a certain description of input data. And an output layer makes a final decision by combining the description given from each neurone of an interlayer.

[0218] Moreover, for example, study by back propagation is established, for example, this is adopted in a neural network of three layers who mentioned above, and a discrimination circuit is constituted. By this, you push the back in the direction of back,  $O1 = [0, 1, 0, 0, 0]$  makes it input, and the value (real number) near  $[0, 1, 0, 0, 0]$  as an output comes to be outputted.

[0219] Robot equipment 1 can learn actuation of arbitration by the discernment section 111 as mentioned above. Thereby, robot equipment 1 comes to discover the actuation learned corresponding to the utterance concerned to predetermined utterance (sound signal) by tying up and learning a picture signal

and a sound signal.

[0220]

(4-3) In study of actuation of the study above-mentioned arbitration of the external force given to robot equipment, it is learning the posture at the time of giving external force and changing compulsorily, and the case where the actuation (posture) which connects to predetermined utterance etc. and is discovered was learned was explained. Here, study of the class of such external force is explained. Robot equipment 1 can discover predetermined actuation, when the external force learned by learning the class of external force is inputted. Robot equipment 1 recognizes the force input from this outside, and seems to be specifically able to appear stability as predetermined actuation, when the external force which learned the external force given to the waist and was learned to the waist after study is given. Hereafter, study of external force is explained concretely.

[0221] As a configuration for study of external force, robot equipment 1 is equipped with a study means 160 make a detection means 153 detect the condition of the joint section 152 that external force is acting through the joint section 152 and the right-hand-side material 151 for operating the right-hand-side material 151 and the right-hand-side material 151, and the condition and the external force of the joint section 152 which the detection

means 153 detected correspond, and learn them, as shown in drawing 28 . And robot equipment 1 can specify the class from the condition of the joint section 152, when external force is given after study. Here, the right-hand-side material 151 is a part driven with the actuators 251-25n of the idiosoma unit 2, the leg units 3A, 3B, and 3C, 3D, the idiosoma unit 2, and head unit 4 grade, as robot equipment 1 is shown in drawing 7 and drawing 8 . Moreover, the joint sections 152 are such actuators 251-25n, and, specifically, are motors which constitute Actuators 251-25n.

[0222] By considering as such a configuration, robot equipment 1 is made as [ learn / using the pulse signal of PWM given to a motor / external force ]. As mentioned above, robot equipment 1 The idiosoma unit 2, the leg units 3A, 3B, and 3C, 3D, It considers as the right-hand-side material the idiosoma unit 2 and the head unit 4 grade minded the joint (joint). furthermore, the joint (the shoulder joint --) of plurality [ 3D / the leg units 3A, 3B, and 3C and ] While consisting of two or more right-hand-side material through a knee joint and an ankle joint and connecting the leg units 3A, 3B, and 3C and 3D with front and rear, right and left of the idiosoma unit 2 through a joint, respectively The head unit 4 and the tail section unit 5 are connected and constituted by the front end section and the back end section of the idiosoma unit 2 through the joint, respectively. And the joint which joins these right-hand-sides material possible [ actuation ] is

constituted by Actuators 251-25n, and the pulse signal of PWM is a signal given to the motor which constitutes these actuators 251-25n.

[0223] The value of the width of face of the pulse signal of PWM is determine according to the condition of the joint section ( motor ) 152 that external force is act through the right hand side material ( various units ) 151 , and it is calculate as an error value of the target include angle of each joint ( motor ) , and an actual include angle , namely , since it is such , if the force joins robot equipment 1 , an error value will become large , and thereby , the value of pulse width also becomes large . That is, the value of the pulse width of PWM becomes large according to the external force which joins robot equipment 1. Robot equipment 1 is performing study of external force using the pulse signal of such PWM. The detection means 153 is specifically detected as a condition of the joint section 152 that external force is acting the value of such pulse width of PWM through the right-hand-side material 151. in addition, as mentioned above, since the value of the width of face of the pulse signal of PWM is calculated as an error value (difference) of the target include angle of each joint (motor), and an actual include angle, the condition of the joint section 152 which the detection means 153 detects is the error value of the target include angle of each joint (motor), and an actual include angle -- it can also say. In addition, it realizes as one function of a digital disposal circuit 14 shown in drawing 8 etc., or the detection

means 153 is realized by software or the object program.

[0224] Here, with the gestalt of operation, although explained in full detail later, the pulse signal of PWM given to the leg units 3A, 3B, and 3C and the motor used as the joint of 3D as a pulse signal of PWM for study of external force and the pulse signal of PWM given to the motor used as the joint of the idiosoma unit 2 and the head unit 4 are used. Drawing 19 mentioned above - drawing 25 show change of the pulse signal of PWM of each joint section (motor) used for study of such external force when various external force is added, and show the pattern change according to various external force. In addition, the value of PWM pulse width serves as a candidate for abbreviation about 0 (x axis) so that it may understand, even if it compares the pattern in the case of "pushing back" in which it is shown in the pattern and drawing 21 in the case of "pushing on the front" in which it is shown in drawing 20 .

[0225] In study of external force, study which used the neural network in the study means 160 is performed as data for study using such a pattern at the time of various external force which was mentioned above adding (in detail vector value). For example, the study means 160 is realized by software or the object program.

[0226] As a neural network, it is learning using the neural network especially by back propagation of a hierarchy joint mold network. The neural network by back

propagation has the high adaptability to pattern recognition, and with the gestalt of operation, as shown in drawing 29 and drawing 30 , he is performing study by the input layer 161 and the neural network by the three-layer back propagation which hides and consists of three layers of a layer (middle class) 162 and the output layer 163.

[0227] If the information (value of pulse width)  $D_{in}$  from a sensor is inputted into the input layer 161 after study by the neural network by such three-layer back propagation, the information  $D_{out}$  on the class of learned external force that it corresponds to Information  $D_{in}$  from [ from the output layer 163 ] such a sensor will come to be outputted.

[0228] the input layer 161 in the neural network by such three-layer back propagation -- it hides and the layer 162 and the output layer 163 are specifically constituted as follows.

[0229] The input layer 161 has two or more neurone, and has 18 neurone with the gestalt of operation. That is, the data of 18 are inputted into the input layer 161 for study of external force. for example, robot equipment 1 -- as a current posture -- "-- standing -- posture (Standing)" -- Those with three kind, such as "a stability posture (a stability posture, Sitting)" and "recumbent form vigor (Sleeping)", Those with 15 kind (there are three kinds of 4 piece  $3 \times 4 = 12$  kind and heads, and they are a total of 15 kinds), and since it is such, let 18 kinds of the

grand total be input data for the value of the PWM pulse width of each joint (motor of each joint section).

[0230] Here, the input of a current posture is also used for study of external force because the condition of joint (joint) is dependent on a posture, namely, it is because the value of the pulse width is dependent on a posture.

[0231] The pattern made into the vector value which consists of a value of each pulse width is inputted into such an input layer 161 as information  $D_{in}$  from a sensor. In addition, with the gestalt of operation, the value of the pulse width which is an input value is normalized by (7) types in order to take a value within the limits of  $[-512, 512]$ .

[0232]

[Equation 7]

$$\text{Input} = \frac{P + |P_{\min}|}{P_{\max} + |P_{\min}|} \quad \dots (7)$$

[0233]  $P$  is the value of the surveyed pulse width here,  $P_{\max}$  is maximum (512), and  $P_{\min}$  is the minimum value (-512). Moreover, the normalization of the input data about a posture is unnecessary because of  $[0, 1]$  (in order to take one of the values of 0 or 1).

[0234] It hides, and the layer 162 has two or more neurone, and has 17 neurone with the gestalt of operation. The number of these neurone is determined by the



so-called TAMBU method. That is, it determined by taking an average with the number of the neurone of the input layer 161, and the number of the neurone of the output layer 163, and performing smoothing of the acquired value. It is based on the TAMBU method and hides, and if the number numOfHidden of neurone of a layer 162 is expressed with a formula, it will become like (8) types.

[0235]

[Equation 8]

$$\text{numOfHidden} = \frac{\text{numOfInput} + \text{numOfOutput}}{2}$$

$$= 14 + \alpha$$

[0236] Here, numOfInput is the number of neurone of the input layer 161, numOfOutput is the number of neurone of the output layer 153, and alpha becomes the value fluctuated by smoothing. If 10 is substituted for this (8) type as the number numOfInput of neurone of the input layer 161 as the number numOfOutput of neurone of 18 and the below-mentioned output layer 153, it will hide and the number numOfHidden of neurone of a layer 162 will be set to 17.

[0237] The output layer 163 has two or more neurone, and has ten neurone with the gestalt of operation. Although there is the number of neurone of the output layer 163 with ten pieces here It suggests that this can recognize ten kinds of external force by study. For example, were pushed before (external force shown in ForceForward and drawing 20 ). Were pushed back (external force shown in ForceBakward and drawing 21 ). The right hand was held (external force shown in RightHandUp and drawing 24 ). The both hands by which the left hand was held (external force shown in LeftHandUp and drawing 25 ) were held (it BothHandUp(s)). Pushed having no illustration and the head upwards (external force shown in HeadUp and drawing 22 ). The head pushed down in the head (external force shown in HeadDown and drawing 23 ) was pushed on the right (it HeadRight(s)). It is pushed [ which was pushed on the left in having no illustration and the head (with HeadLeft and no illustration) ], and ten kinds of external force can be recognized as there being nothing (condition shown in NoForce, for example, drawing 9 ) etc.

[0238] Thus, although many things are mentioned about the input layer 161 and the I/O function which hides, the layer 162 and the output layer 163 are constituted, hides, and is used in a layer 162 and the output layer 163, the so-called sigmoid function is used with the gestalt of operation. The sigmoid function has the property that an output changes smoothly to the input sum

unlike the so-called threshold function etc., as shown in drawing 31 .

[0239] The neural network by such three-layer back propagation is used, and study of various external force is made as follows.

[0240] Study is performed by giving the pair of input vector data and instruction signal vector data to a network (study means 160), as shown in drawing 30 . The output of a certain specific neurone is 1, and except it, teacher vector data is given so that it may be set to 0. That is, for example, all the classes of external force which does not need to be recognized are given as 0, using external force of a class to make it recognize as 1.

[0241] sigmoid function sigmoid() as the output  $y_j$  (1) from which an interlayer 162 is obtained by the input sum indicated to be to (9) types at this time -- sigmoid function sigmoid() as the output  $y_j$  (2) from which it is therefore obtained and the output layer 163 is obtained by the input sum indicated to be to (10) types -- therefore, it is obtained. And renewal of weight, i.e., study of weight, is made by (11) types. Here, sigmoid function sigmoid() is a function shown like (12) types.

[0242]

[Equation 9]

$$y_j^{(1)} = \text{sigmoid} \left( \sum_{i=0}^{\text{numOfInput}} w_{ij} a_i \right) \quad \dots (9)$$

[0243]

[Equation 10]

$$y_j^{(2)} = \text{sigmoid} \left( \sum_{i=0}^{\text{numOfHidden}} W_{ij}^{(2)} y_i^{(1)} \right)$$

[0244]

[Equation 11]

$$\begin{aligned} W_{ij}^{(m+1)}(t) = & W_{ij}^{(m+1)}(t-1) - \varepsilon y_i^{(m)}(t) Z_i^{(m+1)} \\ & + \beta W_{ij}^{(m+1)}(t-1) \quad (m=0,1) \end{aligned}$$

[0245]

[Equation 12]

$$\text{Sigmoid}(x) = 1 / \left( 1 + \exp(-x) \right)$$

[0246] ai is the value of each pulse width inputted here, zi is an error back

propagation output, epsilon is a learning function, and beta is a moment coefficient. In the case of the robot equipment 1 which is the factor which influences a study rate greatly, for example, was constituted like the gestalt of operation, epsilon (learning function) and beta (moment coefficient) can make a study rate the optimal by being referred to as epsilon= 0.2 and beta= 0.4.

[0247] And the input of the input vector data of multiple times and the input of teacher vector data are performed, and study is ended when it converges below on a threshold with the error of the input vector data and teacher vector data which were inputted into the neural network. For example, study is ended when it converges below on a threshold with the 2nd [ an average of ] power error error as shown in (13) types.

[0248]

[Equation 13]

$$\text{error} = \frac{\sum |te - a|^2}{\text{numOfOutput}}$$

[0249] Here, a is input vector data and te is teacher vector data.

[0250] For example, a study procedure is online study (it learns serially), repeats the same data 10 times and learns them. Moreover, the data of the same pattern

are also made to learn by 20 abbreviation continuation. By this, study by grand total abbreviation 800 sample will be made.

[0251] An example of the relation between the count of study and a 2nd [ an average of ] power error is shown in drawing 32 . In the result shown in this drawing 32 , the 2nd [ an average of ] power error with the above-mentioned count of study is the minimum by about 50 times, and this shows that it is being completed by study by about 50 times. In addition, since the initial value of a weighting factor is given at random, with the initial value, extent of convergence of study usually changes. That is, although it may be completed by study by about 50 times in this way depending on initial value, I hear that it may require about 150 times, and it is until it completes study depending on the case.

[0252] The study which used the neural network by three-layer back propagation with the above procedures is made. Thereby, by the input (input of multiple times) of two or more kinds of external force, robot equipment 1 can be made to be able to respond to the condition (for example, value of PWM pulse width) of the joint section 152, can learn two or more kinds of external force concerned, and can carry out KATEGORAIZESHON (classification-izing) of the external force. in addition -- for example, a \*\*\*\*\* [ KATEGORAIZESHON well ] -- or it can check whether fault study is carried out by performing the so-called generalization nature test by robot equipment 1.

[0253] By study of such external force, specifically robot equipment 1 It recognizes that the external force concerned is acting on the waist from two or more kinds of learned external force when external force is given to the waist. The stability as predetermined actuation which recognizes and corresponds that the external force concerned is acting on the waist from the value (pattern) of each PWM pulse width specifically given to each joint section 152 can be appeared now. Thus, robot equipment 1 can learn the external force of arbitration, thereby, can make high the degree of freedom of the interaction by the contact (external force) from a user, and can make many actuation appear now.

[0254] In addition, although here explained the case where study in the study section was performed using the neural network by three-layer back propagation, it cannot be overemphasized in the study section that other learning technique can be used. For example, also KATEGORAIZESHON [ external force ] using SVM (Support Vector Machine). Although it is the approach of carrying out a linearity classification like a perceptron, SVM maps data once to nonlinear space, and since it asks for the hyperplane separated in the space, it can solve a problem nonlinear as a matter of fact. The formula showing the principle below is shown.

[0255] Usually, the problem of pattern recognition can ask for recognition

function  $f(x)$  shown in (14) types from the case where it considers as test sample

$x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ .

[0256]

[Equation 14]

$$f(x) = \sum_{j=1}^n v_j x_j + b$$

• • •

[0257] What is necessary is here, just to consider the problem which minimizes

$\|v\|^2$  under a constraint like (15) types, if a teacher label is made into  $y = (y_1, y_2,$

$y_3, \dots, y_n)$ .

[0258]

[Equation 15]

$$\text{制約条件} : y_j (v^T x_j + b) \geq 1$$

• • •

[0259] The problem which such constraint attached can be solved using

Lagrange's method of undetermined multipliers. If the Lagrange multiplier is

introduced, it can be shown like (16) types.



[0260]

[Equation 16]

$$L(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|v\|^2 - \sum_{i=1}^l a_i \left( y_i \left( (x_i^T v + b) - 1 \right) \right)$$

[0261] Here, if it \*\*\*\*\* like [ v / b and ] (17) types, a secondary plan problem as shown in (18) types can be dropped. (19) The constraint is shown in the formula.

[0262]

[Equation 17]

$$\frac{\partial L}{\partial b} = \frac{\partial L}{\partial v} = 0 \quad \dots (17)$$

[0263]

[Equation 18]

$$\max \sum a_i - \frac{1}{2} \sum \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j \quad \dots (18)$$

[0264]

[Equation 19]

$$\text{制約条件: } \alpha_i \geq 0, \sum \alpha_i y_i = 0 \quad \dots (19)$$

[0265] When there are few number of dimensions of a feature space than the

number of training samples, a slack variable  $\xi_i \geq 0$  is introduced and a constraint is changed like (20) types.

[0266]

[Equation 20]

$$\text{制約条件} : y_i (v^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i \quad \dots (20)$$

[0267] The performance index of (21) types is optimized about optimization.

[0268]

[Equation 21]

$$\frac{1}{2} \|v\|^2 + C \sum \xi_i \quad \dots (21)$$

[0269] Here, C is the multiplier which specifies how far a constraint is loosened, and needs to determine a value experimentally. The problem about the Lagrange multiplier alpha is changed so that it may be shown like (22) types.

(23) The constraint is shown in the formula.

[0270]

[Equation 22]

$$\max \sum a_i - \frac{1}{2} \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j \quad \dots (22)$$

[0271]

[Equation 23]

制約条件:  $0 \leq \alpha_i \leq C, \sum \alpha_i y_i = 0$

... (23)

[0272] However, so far then, since a nonlinear problem cannot be solved, it considers introducing the kernel function  $K(x, x')$  which is a nonlinear mapping function, mapping to the space of high order origin once, and carrying out linearity separation in the space. By carrying out like this, it becomes carrying out nonlinear separation and an EQC at the original dimension. A kernel function can be shown like (24) types using a certain map  $\phi$ . And a discriminant function comes to be shown in (25) types.

[0273]

[Equation 24]

$$K(x, x') = \Phi(x)^T \Phi(x') \quad \dots (24)$$

[0274]

[Equation 25]

$$\begin{aligned} f(\Phi(x)) &= v^T \Phi(x) + b \\ &= \sum \alpha_i y_i K(x, x_i) + b \end{aligned} \quad \dots (25)$$

[0275] Study comes to be shown in (26) types. (27) The constraint is shown in the formula.

[0276]

[Equation 26]

$$\max \sum a_i - \frac{1}{2} \sum \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad \dots (26)$$

[0277]

[Equation 27]

$$\text{制約条件: } 0 \leq \alpha_i \leq C, \sum \alpha_i y_i = 0 \quad \dots (27)$$

[0278] (28) types of a Gaussian kernel etc. can be used as a kernel function.

[0279]

[Equation 28]

$$K(x, x') = \exp\left(-\frac{|x - x'|^2}{\sigma^2}\right) \quad \dots (28)$$

[0280] By the above principles, KATEGORAIZESHON of action by SVM becomes possible.

[0281] Moreover, although here explained the case where robot equipment 1 learned external force based on the condition of joint (joint section), it is also good to stop at detecting the external force which acts on robot equipment 1 from the condition of joint. That is, robot equipment 1 is equipped with a detection means to detect the condition of the joint section for operating

right-hand-side material, and an external force detection means to detect the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which the detection means detected, in this case. For example, a detection means here is the detection means 153 shown in above-mentioned drawing 28 .

[0282] It is detectable that such robot equipment 1 had external force based on the condition of the joint section. And it can detect that external force is added, without being able to realize a detection means and an external force detection means as software or an object program, and, for example, such robot equipment 1 equipping a sensor specially (dedication) therefore. Moreover, it can be said that study of external force is attained, without having a new configuration, even if it faces robot equipment 1, when learning external force which was mentioned above.

[0283] In addition, the configuration which detects such external force in robot equipment 1 is a configuration as the so-called external force detection-equipment, and it cannot be overemphasized that it is not limited to the configuration as this external force detection equipment being adapted for robot equipment 1.

[0284] Moreover, the pulse signal of PWM given to the leg units 3A, 3B, and 3C and the motor used as the joint of 3D as a pulse signal of PWM for study of

external force in this example, Although the case where the pulse signal of PWM given to the motor used as the joint of the idiosoma unit 2 and the head unit 4 was used was explained, it is not limited to this and the pulse signal of PWM of the motor which constitutes other joints can also be used for study of external force.

[0285] Moreover, although this example explained the case where the pulse signal of PWM was being used for study of external force, it is not limited to this and the signal which changes according to external force can be used for study of external force.

[0286]

(4-4) Recognition of a sound signal (example of the speech recognition section)

Next, recognition of a sound signal is explained concretely. Robot equipment 1 is equipped with the sound signal input section 121, the characteristic quantity extract section 122, and the HMM section 123 as a part which recognizes a sound signal, as shown in drawing 33 . Here, the configuration which consists of the characteristic quantity extract section 122 and the HMM section 123 serves as an example of the speech recognition section 101 shown in drawing 15 .

[0287] The acoustic signal input section 121 is a part into which a surrounding sound etc. is inputted. For example, it is the above-mentioned microphone 23. The acoustic signal (sound signal) from this acoustic signal input section 121 is

outputted to the characteristic quantity extract section 122.

[0288] The characteristic quantity extract section 122 detects the characteristic quantity of an acoustic signal, and outputs it to the latter HMM section 123.

[0289] Hidden Markov Model is used for the HMM section 123, and it carries out the class classification of the inputted acoustic signal based on characteristic quantity. For example, an acoustic signal is identified based on the class classified into plurality. And the HMM section 123 outputs the recognition result in each class as a probability to seem the word corresponding to for example, each class. For example, it outputs as a vector value.

[0290] By the above configurations, robot equipment 1 identifies the voice inputted from microphone 23 grade as a phoneme sequence.

[0291] And as shown in drawing 34 , the information on the language recognized by the speech recognition section 101 by HMM [S0, S1, S2] is inputted into the associative remembrance storage section 104 with the information on the actuation acquired by the sensor recognition section 102 [V0, V1, V2, V3, V4].

[0292] In the associative remembrance storage section 104, such information is tied up and memorized at the time of study. And the associative remembrance storage section 104 outputs action information after study based on the inputted information. For example, the action information on a vector value [B0, B1, B-2, B3] is outputted.

[0293] As shown in drawing 35 , in study For example, the language of "the stability (backward)" as a speech recognition result, as the result depended on acquisition of action -- vector [-- 0. -- when 1, 0.9, 0.2, 0.1, and 0.3] are inputted and "stability (backward)" is inputted after study, actuation [0, 1, 0, 0, 0] of "stability" is outputted as action information.

[0294] In the above, study by the associative remembrance in robot equipment 1 was explained. Next, the study which took in the joint cautions which make specification of a study object easy is explained.

[0295] (5) When you learn the voice and the image by joint cautions robot equipment 1, let it be a premise to specify a specific sound and a specific image from a surrounding noise, and to set this as the object (a study object, target object) of study. Joint cautions make specification easy for such a study object. For example, or joint cautions shake a study object, it shakes (visual stimulus) or they become possible by generating a stimulus for the informer-ed (acoustic-sense stimulus) of uttering and directing voice making a study object specify.

[0296] As a configuration for joint cautions, robot equipment 1 is equipped with the picture signal input section 131, the segmentation processing section 132, and the study object detecting element 133, as shown in drawing 36 . The segmentation processing section 132 and the study object detecting element



133 function as a study object specification means to specify a study object here.

And it functions as a behavior control means by which the above-mentioned action generation section 105 acts based on the information on the study object concerned of the associative remembrance storage section 104 the information on the study object which such a study object specification means specified was remembered to be, and the information on the detected new object.

[0297] The picture signal input section 131 is a part which picturizes a perimeter, and, specifically, is CCD camera 20 shown in drawing 8 . The picture signal inputted from this picture signal input section 131 is inputted into the segmentation processing section 132.

[0298] The segmentation processing section 132 performs segmentation from a picture signal. For example, the segmentation by the color is performed. Segmentation pinpoints a field in an image and means investigating or mapping \*\*\*\*\* of that in a feature space. By this segmentation, differentiation with a study object and a surrounding image is attained in the picturized image. The picture signal by which segmentation was carried out in the segmentation processing section 132 is inputted into the latter study object detecting element 133.

[0299] The study object detecting element 133 detects a cautions part (study object) from the image information by which segmentation was carried out (specification). For example, by making into a specific region a part with the

image information lost motion by which segmentation was carried out, i.e., the part which is changeful in time sequence, when some conditions are fulfilled, it detects as a study object. Specifically, detection of a study object is made as follows.

[0300] First, in the image by which segmentation was carried out, the amount of cautions is set up by making into a specific region a part (part which is changing in time) with a motion. Here, the amount of cautions serves as an index for study object specification. In specifying a study object by motion, the amount of cautions turns into an amount which changes with motions.

[0301] And the specific region is followed and it distinguishes whether it is a study object with the amount of cautions. If conditions with the amount of cautions are fulfilled, specification 1, i.e., robot equipment, "will pay attention" as a study object -- it is made like.

[0302] Although that is right about specifying a study object by motion also in the human world, an informer is because the study object concerned is shaken, or it shakes and it teaches an informer-ed, in case a study object is taught. For example, in case it teaches that it is a "cop", an informer comes out so that a "cop" may be said to an informer-ed as a "cop" with a swing and may be taught.

[0303] When a specific region is followed and a value predetermined in the amount of cautions, for example, a motion, shows change of the specified

quantity, the study object detecting element 133 is specified as a study object, and pays attention. Attention is paid when beyond a threshold (step) with the amount of cautions is specifically exceeded.

[0304] Thus, by the segmentation processing section 132, the study object detecting element 133 set the amount of cautions as the specific region, and has detected the study object (specification).

[0305] Robot equipment 1 is enabling joint cautions by having the above picture signal input sections 131, the segmentation processing section 132, and the study object detecting element 133.

[0306] Thereby, robot equipment 1 can make suitable study connected to image information or action, as a study object is specified appropriately and mentioned above.

[0307] In addition, the gestalt of above-mentioned operation explained specifying as a study object from a motion of an object (body) about the joint cautions which robot equipment 1 performs. However, it is not limited to this. For example, a study object can also be specified with voice. In this case, robot equipment 1 specifies an object as a study object toward the direction where voice is uttered. For example, when the amount of cautions is set up to voice, for example, the generated direction, and magnitude and some conditions are fulfilled, it is made to specify as a study object.

[0308] Moreover, the cautions over a study object are good also as what shall be decreased by time amount. Or it is good also as what will be decreased if association is stabilized. Attention can be paid to a new stimulus (an image input, voice input) by this, and study can be ignited (initiation).

[0309] Moreover, when attention is paid, it is good on a step also as taking a big value and making it decrease according to some conditions. For example, it is made to decrease by the passage of time by making some conditions into time-amount. Moreover, by one side, the amount of cautions can also be set as coincidence to two or more objects. For example, a setup of the amount of cautions is performed to a motion of an object or voice. For example, it carries out to a motion of one object, the amount of cautions is set up, and the amount of cautions is set up to voice about the object of another side.

[0310] While this is investigating the object (specific region) which has paid attention (characteristic quantity, such as a color and a form, is investigated), the amount of cautions can be set as other objects by other stimuli (for example, voice, an image). Here, about the object which has paid the present attention, since it considers as the big value on a step as mentioned above, even if the amount of cautions is set as the object which is different with such other stimuli, investigation of the object chosen previously for a while can be continued.

[0311] And when "cautions" of the object which has paid the present attention

have declined, cautions can be turned to an object with other stimuli, i.e., the object which the amount of cautions has increased.

[0312] Moreover, although joint cautions are based on a motion of a study object as a stimulus, human being's finger can also perform them to others. That is, the body of the direction which the finger points out is specified as a study object.

[0313] Such joint cautions are the examples of the joint cautions assumed by the interaction of the usual man and a man. For example, attention is paid in this case by making into a specific region the beige field obtained by segmentation. It explains using drawing 37 .

[0314] As shown in (A) among drawing 37 , suppose that the image pick-up image which is pointing to the cone 141 by the hand 142 was obtained in a certain environment. In addition, in the following processings, a low pass filter may be covered over an image pick-up image for an object in consideration of calculation speed etc. by the image processing.

[0315] And the beige part in an image is sampled. In this case, a color feature space is used, the description of a beige part is acquired, and the beige part in an image is sampled. Thereby, as shown in (B) among drawing 37 , the part of a hand 142 is sampled.

[0316] And as shown in (C) among drawing 37 , the longitudinal direction of the part of the hand 142 is specified. This is because the configuration of the hand

when pointing to an object becomes abbreviation rectangle-like toward an object. For example, a longitudinal direction is specified as shown in the line 143 in drawing.

[0317] And as shown in (D) among drawing 37 , the longitudinal direction for which the subject-copy image was asked is doubled, and an object is specified as shown in (E) among drawing 37 . That is, the cone 141 to which it points with the finger is specified. For example, the image near the tip of a finger is taken out as a sample, a color is specified in a color feature space and the field constituted by the corresponding color is pinpointed. It considers as the same color by this, for example, the yellow cone 141 can be specified.

[0318] Moreover, about joint cautions, it is not limited to what is depended on the above technique. For example, it can also consider as joint cautions of paying attention to the thing of the point human being's look.

[0319] Moreover, robot equipment 1 may be equipped with a means to check whether joint cautions are performed. That is, predetermined action is made to appear when the candidate for study is specified by joint cautions. For example, when an object is shaken, instruction is made and the candidate for study is specified (tailing), robot equipment 1 makes action of shaking a head appear, and tells a user about the specified purport. Thereby, an instruction object can check whether robot equipment 1 has caught the object which self is teaching as

a study object.

[0320] As mentioned above, through human being and interaction, self can evaluate action and robot equipment 1 can gain suitable action for self.

[0321] Moreover, by carrying out associative storage of the action to other audio sensor stimuli, robot equipment 1 can be learned so that the action can be taken out only with voice.

[0322] Next, the example of the associative storage system mentioned above is explained, referring to drawing 38 . It sets in the example of the associative storage system shown in this drawing 38 , and what is memorized and reminded of four consciousness channel input configurations (a color, a form, voice, instinct) is assumed. In this drawing 38 , the input of each channel of the color (Color) recognition machine 201, the form (Shape) recognition machine 202, and the voice (Speech) recognition machine 203 is received. Prepare some patterns or prototypes beforehand and binary ID (identification information) is attached for every prototype. It recognizes whether with each recognition vessels 201-203, an input configuration corresponds to which these prototypes. He outputs the ID ID, i.e., a color prototype, the form prototype ID, and the voice prototype ID, respectively, and is trying to send them to the short-term memory section 211 of the associative storage section 210. Here, through the semantics converter (SC) 204 which performs the tagging to which the output from the voice (Speech)

recognition machine 203 followed semantics and syntax, the voice prototype ID is sent to the short-term memory section 211, and a phoneme symbol string (Phoneme Sequence) is also sent to coincidence at the short-term memory section 211. Moreover, about instinct, from the instinct information bureau (ISM:Internal StatesModel) 205, the change value (delta value) of instinct (for example, curiosity) is outputted as an analog quantity, and is sent to the short-term memory section 211 of the associative storage section 210.

[0323] The associative storage section (Associative Memory) 210 has the short-term memory section (Short Term Memory) 211, the long-term memory section (Long Term Memory) 212, and the cautions storage section (AttentionMemory) 213, and is constituted. Furthermore, in this associative storage system, the release mechanism (RM) 221 and the action (behavior) network (BeNet) 222 are formed in relation to the short-term memory section 211. RM (release mechanism)221 and BeNet (action network)222 are also called the action generation section.

[0324] In the associative storage system shown in this drawing 38 , with the color recognition vessel 201, the color prototype ID is added to each object by which segmentation was carried out with the color segmentation module, and it is inputted into the associative storage section 210. From the speech recognition machine 203, the prototype ID of a word is outputted by a user's utterance and



the phoneme symbol string (Phoneme Sequence) of utterance is also sent to the associative storage section 210 at this time. By this, it becomes possible by processing of storage and association to make a robot speak. The information on each inputted channel is stored in the short-term memory section 211 in the associative storage section 210 (Short Term Memory), and part extent preservation for a certain fixed time amount, for example, 100 objects, is carried out.

[0325] The associative storage section 210 is associated with whether it memorized in the past about an input configuration (recall). When it cannot associate, an input configuration is transmitted to the release mechanism (RM) 221 and the action network (BeNet) 222 as it is. When it can associate, the direction of association is added and it transmits to RM221 and BeNet222.

[0326] At BeNet222, it is a flag (Shared Attention Flag) from the color segmentation module of the color recognition machine 201. The existence of the joint cautions by pointing from a user which was checked and mentioned above is changed into a latch command, and it transmits to the associative storage section 210. In the associative storage section 210, if a latch command is received from BeNet222, retrieval by the frame number is performed and the object which matches is stored in the cautions storage section (Attention Memory) 213. In this condition, if the change value (delta value) of instinct is

large enough, the storage (memory) to the 213 long-term memory sections (Long Term Memory) 212 from the cautions storage section (Attention Memory) will be performed. If the change value (delta value) of instinct can take an analog-value like 0-100 and the delta value of instinct is memorized by 80, it can acquire the value 80, by association.

[0327] Next, the detail of associative storage is explained. Drawing 39 shows a two-layer hierarchical neural network's example used for associative storage. In this drawing 39, the example of the competitive learning network which uses the first pass as the input layer (Input Layer) 231, and uses the second layer as the contention layer (Competitive Layer) 232 is shown, and joint weight between the  $i$ -th unit (neurone) of the input layer 231 and the  $j$ -th unit of the contention layer 232 is set to  $W_{ji}$ . As actuation, a storage mode and the 2 modes of associative (or remembrance) modes exist, an input configuration is memorized competitively and the pattern memorized in the past is recollected in remembrance mode from a certain partial input configuration at a storage mode. In an input side, they are the input  $x_1$  of the above-mentioned color, a form, voice, and instinct,  $x_2$ , ...,  $x_m$ . When correspond, and  $m$  neurone exists, for example, it makes the color prototype ID, the form prototype ID, and the voice prototype ID into 20 pieces at a time, respectively and the class of instinct is made into six pieces, the number of input neurone becomes 66 pieces from

$20+20+20+6=66$ . Each neurone expresses one symbol and, as for contention neurone, the number of contention neurone is equal to the number of a memorizable symbol or patterns. By the above-mentioned example, although each prototype ID and all the combination patterns of the class of instinct are set to 48000 by  $20 \times 20 \times 20 \times 6$ , mounting about 300, for example is mentioned.

[0328] Next, a storage mode is explained. The joint weight  $W_{ji}$  of the input layer 231 and the contention layer 232 shall take the value of a before [ from 0 / 1 ].

Early binding weight is determined at random. Storage chooses the neurone in which it won straight victories in the contention layer first, and is performed by strengthening the bonding strength (joint weight  $W_{ji}$ ) of the neurone and input neurone. Input pattern vector  $[x_1, x_2, \dots, x_n]$  If attached, when the prototype ID corresponding to neurone  $x_1$  (for example, the 1st color prototype ID) has been recognized, for example, it is the neurone  $x_1$  concerned. It carries out to making it ignite and igniting the neurone a form and voice have been similarly recognized to be one by one. The neurone which ignited takes +1 and the neurone not igniting takes the value of -1.

[0329] output (contention) neurone  $y_j$  a value -- neurone  $x_1$  of an input side  
\*\*\*\*\* -- it asks by the following (29) types.

[0330]

[Equation 29]

$$y_j = \sum_{i=0}^{\text{numOfInput}} W_{ji} x_i \quad \dots (29)$$

[0331] Moreover, the neurone which wins straight victories in contention is max {y<sub>j</sub>}.

It is alike and asks more.

[0332] Neurone which won straight victories in contention (winner neuron) The renewal of association with input neurone is Kohonen. By the updating regulation, it is  $\Delta W_{ji} = \alpha (x_i - W_{ji})$   $\alpha$ : Rate  $W_{ji}(\text{new})$  of study = It asks by  $\Delta W_{ji} + W_{ji}(\text{old})$ . This is normalized by L2Norm and it considers as the following (30) types.

[0333]

[Equation 30]

$$W_{ji}(\text{new}) = \frac{W_{ji}(\text{new})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{\text{numOfInput}} W_{ji}^2}} \quad \dots (30)$$

[0334] This bonding strength expresses the so-called strength of study, and turns into m<sub>ne</sub>.

[0335] Here, as an example, the above-mentioned rate  $\alpha = 0.5$  of study is used, if it is made to memorize once, it will not forget, and if the pattern same next time is shown, it can be reminded of the pattern memorized almost rightly.

[0336] In addition, originally, it is the process which the target is made to learn serially, and it is also possible for mneme to become strong about a pattern with many counts of presentation, and for structure of mneme which becomes weak to be searched for from associative storage from the pattern seldom shown, and to apply to the gestalt of this operation. That is, if it can respond by tuning of the rate of study, and associative storage, for example, the rate of study is set up low, by the time mneme becomes strong so much, the count of presentation will be needed. Moreover, according to the count of presentation, the rate of study was made low, for example, although 1 time of the beginning had the high rate of study, it was also able to be said that the rate of study was made low, so that the count of presentation increases. It arises that it can be reminded of the pattern which renewal of mneme is seldom performed about a pattern with few counts of presentation by this, consequently storage becomes ambiguous, and is different from having memorized, and cannot reach and associate to an associative threshold. However, since the part, a new symbol, or a pattern may be able to be gained, even if capacity is restricted, a flexible associative storage system can be realized.

[0337] Next, remembrance (association) mode is explained. A certain now and input pattern vector  $[x_1, x_2, \dots, x_n]$  Suppose that it was shown to this associative storage system. The likelihood and the probability as opposed to Prototype ID

also in Prototype ID are sufficient as this input vector. output (contention) neurone  $y_j$  a value -- neurone  $x_1$  of an input side \*\*\*\*\* -- although calculated by the above-mentioned (29) formula, according to the likelihood of each channel, the ignition value of contention neurone also expresses a kind of likelihood. The point that it can act as the connection of them and can ask for overall likelihood from the likelihood input from two or more channels is important here. That with which the example of the gestalt of this operation is associated is  $\max \{y_j\}$  about the neurone which is only and wins straight victories in contention.

It is alike and asks more. The number of the neurone for which it asked is equivalent to the number of a symbol, and recollects an input configuration by the inverse-matrix operation. That is, they are  $Y=W-XX=W^{-1}$  and  $Y=WT-Y$ .

[0338] Next, the count of presentation and coupling coefficient of an input configuration are explained. By the example of the gestalt of this operation, the rate of study is set up highly, and it tunes up so that the shown pattern may be memorized by once. The relation between the count of study in this case and a coupling coefficient is investigated. The coupling coefficient of a certain input configuration and symbol neurone of a contention layer is equivalent to investigating the above-mentioned (29) formula.

[0339] Here, drawing 40 expresses the count (epoch) of presentation, and the

axis of ordinate for the axis of abscissa as a neurone ignition value (activation) about the relation (non-active input) of association to the input neurone in which association with the neurone which ignited by a certain input configuration, and the neurone of a contention layer which gained the symbol is not related (active input), and has not ignited, and the neurone of a binder course. In active input, this drawing 40 shows that association with an input configuration and symbol neurone has become strong, so that the count of presentation increases. Association has become strong rapidly by the 2nd presentation because it was greatly updated by the 1st presentation, and if the rate of study is set up low, it will become a loose curve. In contrast with this, association with the neurone which has not ignited in the input configuration in non-active input has become weaker.

[0340] In addition, building the associative storage system not only in consideration of the count of presentation but presentation frequency is also mentioned. This is because it is desirable to memorize preferentially the pattern shown well from storage capacity being immobilization (finite). It is desirable to also introduce an oblivion function in relation to this. For example, it is more desirable to memorize the important pattern which did not need to save once the pattern memorized by mistake with nonlinear elements, such as a noise of a recognition machine, only by presentation, and there were few counts of

presentation, and it is made to forget about a pattern also with low presentation frequency moreover, and was shown newly.

[0341] Although the rate of study is fixed and new discernment of being an input configuration is performed in the example of the gestalt of this operation here using a certain threshold, it is also possible to change the rate of study, and formulization is also possible about how to decide a threshold.

[0342] Next, the response to many input configurations is explained. The result of having tested about actuation of the associative storage system when showing various patterns as an input is shown in the next table 1.

[0343]

[Table 1]



色	形	音声	本能	備考	評価
1	1	1	1	memory	ok
2	2	2	1	memory	ok
2	2	②	①	recall	ok
②	②	2	①	recall	ok
1	3	①	①	recall 色しか知らないけど	ok
1	3	3	1	memory	ok
1	3	③	①	recall	ok
4	4	1	1	memory	ok
4	4	①	①	recall	ok
①	①	1	①	recall 最初に記憶した物	ok
4	4	1	1	memory	ok
④	④	1	①	recall 記憶が強まった	ok
3①	3	③	1	recall 未知パターンへの入力	ok
5	5	5	1	memory	ok
6	6	6	1	memory	ok
2	2	7	1	memory	ok
②	②	2	①	recall	ok
2	2	⑦	①	recall	ok
7	7	0	2	memory	ok

[0344] In this table 1, each prototype ID about a color (Color), a form (Shape), voice (Speech), and instinct (instinct) is expressed with figures, such as 1, 2, and ..., and the prototype ID of which it was reminded is expressed with a figure with O, \*\*, \*\*, ..., etc.

[0345] Although 5th presentation will be associated with [1, 3, \*\*, \*\*] only based on a color 1 if the pattern of a color 1 and a form 3 is inputted after an input configuration [1, 1, 1, 1] is memorized first (memory) so that clearly from this table 2 (recall) 7th presentation after the pattern of [1, 3, 3, 1] was memorized by the 6th following presentation is associated with [1, 3, \*\*, \*\*] to the input of the

pattern of a color 1 and a form 3 (recall).

[0346] Here, although storage of the input configuration of 20 as shown in the next table 2 is normally performed when making memory capacity into 20 symbols, what was later learned to presentation of many input configurations (a total of 400 patterns) will be held as storage from 20 as shown in the next table 3, and the symbol memorized in early stages as shown in [1, 1, 1, 1] will be overwritten.

[0347]

[Table 2]

色	形	音声	本能	評価
1	1	1	1	ok
2	2	2	2	ok
3	3	3	3	ok
...	...	...	...	ok
19	19	19	19	ok
20	20	20	20	ok

[0348]

[Table 3]

色	形	音声	本能
1	1	1	1
1	2	2	1
1	3	3	1
...	...	...	...
1	20	20	1
2	1	1	1
...	...	...	...
2	20	20	1
...	...	...	...
20	20	20	1

[0349] It is the symbol which can be gained in the case of Table 3 (maintenance) from what was learned at the end to in front of 20 symbols.

[0350] By the way, when "the time of the input configuration from which the ignition value of two or more neurone differs being shown" is adopted, for example a color differs from a form as decision conditions of whether to be a new symbol although the same identifier cannot be attached to two or more bodies with which a color differs from a form, it is possible to attach the same identifier. Namely, although [1, 1, 1, 1], and [2, 1, 1, 1] are not memorizable to coincidence, [1, 1, 1, 1], and [2, 2, 1, 1] can be memorized. In this case, all input configurations as shown in the next table 4 are memorizable.

[0351]

[Table 4]

色	形	音声	本能
1	1	1	1
2	2	1	1
3	3	1	1
...	...	1	1
20	20	1	1

[0352] In an associative storage system which was explained above, since storage capacity is restricted, it is necessary to use efficiently. For that purpose, it is desirable to memorize preferentially the pattern shown well or to memorize a pattern with high frequency preferentially.

[0353] Moreover, when the pattern without the need of memorizing is forgotten in relation to storage capacity and an important new pattern is inputted, it is desirable to make storage possible. (For this reason, the following coupling-coefficient oblivion functions  $f$ , i.e.,  $W_{\text{new}} = f, (W_{\text{old}})$ )

\*\*\*\*\* -- things are mentioned. In addition,  $W_{\text{new}}$  A new coupling coefficient and  $W_{\text{old}}$  An old coupling coefficient is shown. The easiest oblivion function is the approach of weakening a coupling coefficient with defeat person neurone in a contention layer, whenever a pattern is shown. For example, new coupling coefficient  $W_{\text{new}}$  Old coupling coefficient  $W_{\text{old}}$  Being referred to as  $W_{\text{new}} = f(W_{\text{old}}) = W_{\text{old}} - W_{\text{forget}}$  using the oblivion coupling coefficient  $W_{\text{forget}}$  is mentioned. Thereby, association to the pattern which is not shown can become

weaker and can forget a pattern with unimportant low frequency. Here, it is natural to set up the oblivion function  $f$  based on the knowledge of human being's cerebrophysiology in the case of a humanoid robot, and it is desirable.

[0354] Moreover, although taken up about storage of a word (noun) by the example of the gestalt of operation mentioned above, it is desirable to take into consideration also about acquisition of semantic memory, episodic memory, and a verb. For example, it is gaining the action of "kicking" and enabling it to gain the word of "kicking" etc.

[0355] Moreover, although a judgment of a new input configuration is made on the ignition value of the winner neurone of a contention layer by establishing a threshold, it is desirable for it to be necessary to retune up with the increment in an input channel, and to be able to set up quantitatively, for example, to make it calculate automatically in a program.

[0356] Furthermore, when the number of input channels increases and it becomes multi-modal, it is desirable to take into consideration also about normalization of each channel.

[0357] Next, in relation to the instinct information bureau (ISM:Internal States Model) 205 of above-mentioned drawing 38, the example of implementation of the action decision approach of robot equipment is explained. That is, the example of the operation test for investigating the generation of operation in the

robot equipment which applied the ethology-approach which opts for the action to perform based on an external causative agent and an inner causative agent is explained.

[0358] In the example of the gestalt of this operation, eight gages (gauge) and eight instinct (instinct) are used about a robot's internal state (Internal States) and instinct. As eight gages showing a robot's internal state, namely, Nourishment (nourishment), Movement (stools), Moisture (moisture), Urine (urine), These each is received using Tiredness (fatigue), Affection (love), Curiosity (interest), and Sleepy (sleepiness). Hunger (food intake avarice), Defecation (defecation avarice), Thirst (water intake avarice), Eight instinct (instinct) of Urination (urination avarice), Exercise (movement avarice), Affection (love avarice), Curiosity (curiosity), and Sleepy (sleep avarice) is made to correspond.

[0359] In accordance with [ which is notified from biorhythm (Biorhythm) ] time amount, an internal state changes, and changes also with a success/failure in a sensor input and action. For change width of face, the degree of 0-100, and change is personality\_gauge.cfg. And the multiplier in personality\_perception.cfg determines.

[0360] Moreover, for Frustration (frustration), desire is Maximum MAX. It is generated when action cannot be issued, even if it reaches, and it is a gage

(gauge) by action. It has set up so that it may be cleared, when it changes as expected.

[0361] Contents tree as shown in drawing 41 by which two or more actions were built in the layered structure (tree structure) as an action selection / decision system by ethology-approach in this operation test here (contents tree) It uses. By this contents tree, it considers as a system (system), a subsystem (subsystem), the mode (mode), and a module (module) from a high order at order, action of the upper layer is considered as abstract action like a wish, and it considers as concrete action for action of a lower layer to realize such a wish. By the tree of drawing 41 , minimum action was carried out as an ecological model (Ethological Model), and the thing in which a change to the tree which used speech recognition and a test of operation, and the test about study are possible is adopted. Moreover, in this operation test, the instinct corresponding to the tree of drawing 41 (instinct), i.e., Hunger, (food intake avarice), Affection (love avarice), Curiosity (curiosity), and Sleepy (sleep avarice) are used, and only the gage corresponding to such instinct (instinct) (gauge), i.e., Nourishment, (nourishment), Affection (love), Curiosity (interest), and Sleepy (sleepiness) are used. In addition, although it has described on a code what what is concretely considered as a success and is considered as failure and is considering as linearity correspondence about correspondence of a gage (gauge) and instinct

(instinct) in the actual operation test when a module (module) is performed, it is not limited to this.

[0362] the gestalt of this operation -- setting -- feeling (emotion) \*\*\*\*\* -- the expression with two or more shafts -- using -- \*\*\*\* -- concrete -- vigilance (Activation) and the degree (Pleasantness) of \*\* -- using -- further -- already -- feeling is expressed to three-dimension space with three shafts using the reliability (Certainly) of one shaft. Vigilance (Activation) is a degree of whether it has occurred or to sleep determined by biorhythm which mainly exists in a living thing, the degree (Pleasantness) of \*\* is a degree instinct indicates it to be which was filled or whether it is filled, and reliability (Certainly) is a degree which shows whether it is that what is carrying out current attention can be sure that which is by itself. As an instinct required to ask for the degree (Pleasantness) of \*\*, 8gauge(s) and 8instinct which were mentioned above are used (up to four gages which were corrected and were mentioned above in the operation test, and 4 instinct). Time variation is carried out so that the value of -100-100 within the limits shall be respectively taken about vigilance (Activation), the degree (Pleasantness) of \*\*, and reliability (Certainly) and 0 may always be held about the degree (Pleasantness) of \*\*, and reliability (Certainly). Moreover, vigilance (Activation) also holds 0 and he is trying to use a value for it as it is about biorhythm (Biorhythm) in the case of an instinct (instinct) factor.



[0363] The degree of satisfaction of instinct (instinct) is made to reflect in the degree (Pleasantness) of \*\*. Reliability (Certainly) is a vision object (Vision Object), when there are some which are careful of (Attention). The reliability of the very thing to depend is used as it is. Although fundamentally based on the value of biorhythm (Biorhythm), when vigilance (Activation) has fluctuation in sleep (Sleep), it is changed using the result.

[0364] Although biorhythm (Biorhythm) is made to reflect only in vigilance (Activation) and the reliability (Certainly) in this case is changed in 0-100 as a limitation in this operation test, of course, it is not limited to this.

[0365] Next, the test result about eating with sleep (Sleep) (Eat) is explained as the 1st example of an operation test, referring to drawing 42 - drawing 44 . /to look for (Search) in this 1st operation test, consider instinct (instinct) other than Hunger (food intake avarice) and Sleepy (sleep avarice) as immobilization, and according to the module (module) of the contents tree of drawing 41 -- eating (eat) -- the change which sleeps (Sleeping) is investigated. Drawing 42 shows Hunger (food intake avarice) of the instinct (instinct), and time amount change of Sleepy (sleep avarice), drawing 43 shows time amount change of vigilance (Activation), the degree (Pleasantness) of \*\*, and reliability (Certainly) as feeling (emotion), and drawing 44 shows the sleep (Sleep) as motivation (Motivation), and time amount change to eat (Eat).

[0366] A change to the Sleep tree by PAT (it strokes) is possible, and although not illustrated, the change from the Sleep tree by HIT (it strikes) is also possible so that clearly from these drawing 42 - drawing 44 . A change to the Eat tree by Hunger (food intake avarice) increasing and the change to Sleep by Hunger being filled are also possible. When struck, since Sleep is min (MIN), -100 [ i.e., ], there is no change in vigilance (Activation), because instinct (instinct) is not changed. Since a frustrated (Frustration) (not shown) value increases after Hunger becomes max (MAX), 100 [ i.e., ], the increment in the degree (Pleasantness) of \*\* becomes somewhat loose.

[0367] Next, a value change is indicated to be a change of the behavior (behavior) at the time of using the contents tree of drawing 41 for instinct (instinct) etc. to drawing 45 - drawing 47 as the 2nd example of an operation test using four instinct (instinct) corresponding to all the four above-mentioned gages (gauge) (nourishment), i.e., Nourishment, Affection (love), Curiosity (interest), Sleepy (sleepiness), and these. Drawing 45 shows time amount change of instinct (instinct), drawing 46 shows time amount change of feeling (emotion), and drawing 47 shows time amount change of a release mechanism (Release Mechanism).

[0368] In these drawing 45 - drawing 47 , the change to Sleep by PAT (it strokes), the change to Eat by Hunger (food intake avarice), and the change of the

information acquisition (Information Acquisition) by Curiosity (curiosity) are operating effectively, respectively. Moreover, in the condition that actuation is not discovered although Curiosity (curiosity) of instinct (instinct) is max (100), it turns out that the degree (Pleasantness) of \*\* is swaying in the unpleasant direction (frustration). furthermore -- if Sleep increases by PAT (it strokes) -- the degree (Pleasantness) of \*\* -- \*\*\*\*\* -- changing -- it -- following -- peacefulness -- asking (ComfortSeeking) -- signs that it is changing are known.

[0369] By the above operation test, it has checked that action selection / decision system by the ethology-approach based on the contents tree of drawing 41 was operating effectively.

[0370] In addition, this invention is not limited only to the gestalt of operation mentioned above, neither the concrete example of a configuration of an associative storage system nor the contents tree for an operation test is limited to the example of illustration, for example, various configurations are possible. In addition, of course, configurations various in the range which does not deviate from the summary of this invention are possible.

[0371]

[Effect of the Invention] The action which the robot equipment concerning this invention detected the information inputted before and after [ of the contact detection by the contact detection means ] time with the input detection means,

and appeared according to the contact detection by the contact detection means, The input which the input detection means detected is tied up and it memorizes for a storage means. With a behavior control means Corresponding action can be made to appear again, when input and the action which appeared on that occasion are tied up and memorized and the same input is again inputted by being reminded of action from the information in a storage means, and carrying out the action based on the newly acquired input.

[0372] Moreover, the behavior control approach of the robot equipment concerning this invention The contact detection process of detecting contact, and the input detection process of detecting the information inputted before and after [ of the contact detection by the contact detection process ] time, The storage process which connects the action which appeared according to the contact detection by the contact detection process, and the input detected at the input detection process, and is memorized for a storage means, Based on the newly acquired input, it is reminded of action from the information in a storage means, and has the behavior control process which carries out the action.

[0373] The robot equipment with which this invention was applied can make corresponding action appear again, when input and the action which appeared on that occasion are tied up and memorized and the same input is inputted again.

[0374] The robot equipment concerning this invention connects the action result

information which shows the result of having acted according to the input which the input detection means detected, and the input concerned, and memorizes them for a storage means. Moreover, with a behavior control means By specifying the action result information in a storage means, and acting based on the action result information concerned based on the newly inputted input When input and the action result information on a result that it acted according to the input are tied up and memorized and the same input is inputted again, the past action can be recollected based on the action result information which counters, and suitable action can be made to appear.

[0375] Moreover, the behavior-control approach of the robot equipment concerning this invention has the storage process which connects the action result information which shows the result acted according to the input which the input detection means detected, and the input concerned, and memorizes for a record means, and the behavior-control process which specify the action result information in the above-mentioned storage means, and act based on the action result information concerned based on the newly inputted input.

[0376] When input and the action result information on a result that it acted according to that input are tied up and memorized and the same input is inputted again, the robot equipment with which this invention was applied can recollect the past action based on the action result information which counters, and can

make suitable action appear.

[0377] The robot equipment concerning this invention detects the characteristic quantity of the input which the input detection means detected with a characteristic quantity detection means, and classifies input according to an information classification means based on characteristic quantity. Moreover, with a behavior control means By changing the classification of the input which caused the action concerned with a reclassification means based on the action result information which shows the result of having acted based on the classification of input, and having been controlled by the behavior control means and having acted It can act according to the classification of input and the classification can be changed based on the result of having acted.

[0378] Moreover, the behavior control approach of the robot equipment concerning this invention The characteristic quantity detection process of detecting the characteristic quantity of the input which the input detection means detected, The information classification procedure which classifies input based on the characteristic quantity detected at the characteristic quantity detection process, Based on the action result information which shows the result of having been controlled by the behavior control process which acts based on the classification of the input in an information classification procedure, and the behavior control process, and having acted, it has the reclassification process

which changes the classification of the input which caused the action concerned.

[0379] The robot equipment with which this invention was applied can act according to the classification of input, and can change that classification based on that result of having acted.

[0380] Moreover, the robot equipment concerning this invention can carry out predetermined action, when a study object memorizes and the same object is again inputted by memorizing the information on the study object which a study object specification means specified a study object specified for a storage means, and acting with a behavior-control means based on the information on the study object memorized for the detected new object and the storage means.

[0381] Moreover, the behavior-control approach of the robot equipment concerning this invention has the behavior-control process which acts based on the study object specification process of specifying a study object, the storage process which memorizes the information on the study object specified at the study object specification process for a storage means, and the information on the study object memorized for the detected new object and the storage means.

[0382] The robot equipment with which this invention was applied can carry out predetermined action, when a study object is memorized and the same object is inputted again.

[0383] Moreover, the joint section for the robot equipment concerning this

invention to operate right-hand-side material and right-hand-side material, By having a study means to make a detection means to detect the condition of the joint section that external force is acting through right-hand-side material, and the condition and external force of the joint section which the detection means detected correspond, and to learn them The condition and external force of the joint section which detected the condition of the joint section that external force was acting through right-hand-side material, with the detection means, and the detection means detected can be made to be able to respond, and it can learn with a study means. That is, robot equipment can be made to be able to respond to the condition of the joint section which changes according to the external force which acts on right-hand-side material, and can learn the external force concerned.

[0384] The external force detection equipment concerning this invention moreover, by having a detection means to detect the condition of the joint section for operating right-hand-side material, and an external force detection means to detect the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which the detection means detected The external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which detected the condition of the joint section for operating right-hand-side material with the detection means, and the detection means



detected is detectable. That is, external force detection equipment can detect the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which operates the right-hand-side material concerned.

[0385] Moreover, the external force detection approach concerning this invention can detect the condition of the joint section for operating right-hand-side material, and can detect the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the joint section which operates the right-hand-side material concerned by detecting the external force which acts on right-hand-side material based on the condition of the detected joint section.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the characteristic quantity space for detecting the characteristic quantity of an input signal.

[Drawing 2] It is the block diagram showing the learning system equipped with the image, the recognition class about a sound, etc.

[Drawing 3] It is drawing used for the explanation about generation of a new recognition class.

[Drawing 4] It is drawing used in order to explain precedence reference

(reference 4, Iwahashi et al.).

[Drawing 5] It is drawing used in order to explain the relation between an image feature space and a sound feature space.

[Drawing 6] It is drawing used in order to explain the relation between an image feature space, a sound feature space, and the 3rd feature space.

[Drawing 7] It is the perspective view showing the appearance configuration of the robot equipment which is the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 8] It is the block diagram showing the circuitry of above-mentioned robot equipment.

[Drawing 9] It is the block diagram showing the software configuration of above-mentioned robot equipment.

[Drawing 10] It is the block diagram showing the configuration of the middleware layer in the software configuration of above-mentioned robot equipment.

[Drawing 11] It is the block diagram showing the configuration of the application layer in the software configuration of above-mentioned robot equipment.

[Drawing 12] It is the block diagram showing the configuration of the behavioral model library of an above-mentioned application layer.

[Drawing 13] It is drawing used in order to explain the finite stochastic automaton used as the information for the action decision of robot equipment.

[Drawing 14] It is drawing showing the state transition table prepared for each

node of a finite stochastic automaton.

[Drawing 15] It is the block diagram showing the configuration of the part concerning this invention in above-mentioned robot equipment.

[Drawing 16] It is drawing used in order to explain instruction of the actuation to robot equipment.

[Drawing 17] It is the block diagram showing the discernment section which teaches actuation of robot equipment.

[Drawing 18] It is the block diagram showing the discrimination circuit which learns actuation.

[Drawing 19] It is drawing showing the pulse width used for study of operation, and it stands and is the property Fig. of the pulse width in a posture.

[Drawing 20] It is drawing showing the pulse width used for study of operation, and is the property Fig. showing the pulse width when standing and pushing the back forward from a posture.

[Drawing 21] It is drawing showing the pulse width used for study of operation, and is the property Fig. showing the pulse width when standing and pushing the back in the direction of back from a posture.

[Drawing 22] It is drawing showing the pulse width used for study of operation, and is the property Fig. showing the pulse width when standing and pushing the head upward in a posture.

[Drawing 23] It is drawing showing the pulse width used for study of operation, and is the property Fig. showing the pulse width when standing and pushing down the head in a posture.

[Drawing 24] It is drawing showing the pulse width used for study of operation, and is the property Fig. showing the pulse width when pushing the head in the direction of the upper right in a stability posture.

[Drawing 25] It is drawing showing the pulse width used for study of operation, and is the property Fig. showing the pulse width when pushing the head in the direction of the upper left in a stability posture.

[Drawing 26] It is the block diagram showing \*\* and the unpleasant judging section of robot equipment.

[Drawing 27] It is drawing used in order to explain a neural network.

[Drawing 28] It is the gestalt of operation of this invention and is the block diagram showing the configuration which it has in order that robot equipment may learn external force.

[Drawing 29] It is drawing showing the neural network by three-layer back propagation.

[Drawing 30] It is drawing showing the configuration of the neurone of each class in the neural network by three-layer back propagation.

[Drawing 31] It is the property Fig. showing a sigmoid function.

[Drawing 32] It is the property Fig. showing the relation between the count of study, and a 2nd [ an average of ] power error.

[Drawing 33] It is the block diagram showing a concrete configuration for the speech recognition section of robot equipment.

[Drawing 34] It is the block diagram showing the associative remembrance storage section and the action generation section of robot equipment.

[Drawing 35] It is the block diagram showing the associative remembrance storage section used in order to explain concrete processing.

[Drawing 36] It is the block diagram showing the concrete configuration of the sensor processing section of robot equipment.

[Drawing 37] It is drawing used in order to explain the joint study which specifies a study object with a finger.

[Drawing 38] It is the block diagram showing the outline configuration of the example of an associative storage system.

[Drawing 39] It is drawing showing the example of the competitive learning neural network of the two-layer hierarchical type used for an associative storage system.

[Drawing 40] It is drawing showing the example of the change accompanying the count of presentation about association with the input neurone and the input neurone which has not ignited which ignited by a certain input configuration, and

the neurone of a contention layer.

[Drawing 41] In order to test action decision actuation of robot equipment, it is drawing showing the contents tree of the action decision system of the used layered structure.

[Drawing 42] It is drawing showing Hunger (food intake avarice) of the instinct (instinct) in the 1st operation test, and time amount change of Sleepy (sleep avarice).

[Drawing 43] It is drawing showing time amount change of the vigilance (Activation) as feeling (emotion) in the 1st operation test, the degree (Pleasantness) of \*\*, and reliability (Certainly).

[Drawing 44] It is drawing showing the sleep (Sleep) as motivation (Motivation) in the 1st operation test, and time amount change to eat (Eat).

[Drawing 45] It is drawing showing time amount change of the instinct (instinct) in the 2nd operation test.

[Drawing 46] It is drawing showing time amount change of the feeling (emotion) in the 2nd operation test.

[Drawing 47] It is drawing showing time amount change of the release mechanism (Release Mechanism) in the 2nd operation test.

[Description of Notations]

1 Robot Equipment, 101 Right-Hand-Side Material, 152 Joint Section, 153

Detection Means, 160 Study Means Speech Recognition Section, 102 Sensor  
Processing Section, 103 Instinct Emotion Section, 104 Associative  
Remembrance Storage Section, 105 Action Generation Section, 111  
Discernment Section, 122 Characteristic Quantity Extract Section, 123 The  
HMM Section, 131 Picture Signal Input Section, 132 Segmentation Processing  
Section, 133 Study Object Detecting Element, 151